

PATENT SPECIFICATION

(11) 1 224 495

DRAWINGS ATTACHED



1 224 495

- (21) Application No. 14072/68 (22) Filed 22 March 1968
 (31) Convention Application No. 100 738 (32) Filed 29 March 1967 in
 (33) France (FR)
 (45) Complete Specification published 10 March 1971
 (51) International Classification G 11 g 11/14
 (52) Index at acceptance

H3B 2B 2D 2E 3C 3D 4B2 4C1 5A 5X
 H1H 1 2 3A 3E 6A 8B 8D

- (72) Inventors JEAN VALIN
 and JEAN CLAUDE BRUYERE

(54) THIN FILM MAGNETIC INFORMATION STORES

(71) We, COMPAGNIE INTERNATIONALE POUR L'INFORMATIQUE, a French Body Corporate, of 68 Route de Versailles, (78) Louveciennes, France, and CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE, a French Body Corporate, of 15 Quai Anatole France, (75) Paris 7ieme, France, do hereby declare the invention, for which we pray that a patent may be granted to us, and the method by which it is to be performed, to be particularly described in and by the following statement:—

The invention relates to binary information storage apparatus having thin layer magnetic structures.

The invention particularly but not necessarily solely relates to such binary information storage apparatus in which the thin film magnetic structure is of uniaxial anisotropy and substantially rectangular hysteresis loop in the direction of the anisotropy axis, more particularly but not solely wherein they are associated to appropriate read-in and read-out means.

As seen from one aspect the present invention provides a binary information storage apparatus comprising the combination of a thin layer magnetic structure having an antiferromagnetic material layer and a ferromagnetic layer of uniaxial anisotropy arranged for magnetic inter-action over at least part of the registering surfaces thereof, and means for thermo-magnetically writing information into said structure.

As seen from a second aspect the present invention provides a binary information storage apparatus comprising the combination of a thin layer magnetic structure having an antiferromagnetic material layer and a ferromagnetic layer of uniaxial anisotropy arranged for magnetic inter-action over at least part of the registering surfaces thereof, and means for reading-out from said structure any information stored thereon.

Preferably the thin layer magnetic struc-

tures present substantially rectangular hysteresis loops which can be laterally shifted in the one or the opposite direction along the anisotropy axis, which is an axis of "easy" magnetization, whereby a selectively localised conditioning can be controlled in such structures for imparting to memory points thereof either one or the other of two magnetic conditions which may be considered as respectively representing the binary digital values 0 and 1.

The storage apparatus provided according to this invention is of the semi-permanent kind. This is because once information has been written into the magnetic structures, this stored information cannot be damaged nor destroyed by any possible read-out operation or any possibly existing parasitic demagnetizing fields, though such stored information can be voluntarily modified, when required, by specially provided erasing and re-write-in means.

In the third film magnetic structure, the ferromagnetic material layer and the antiferromagnetic material layer may directly contact one another or a very thin layer of non-magnetic material may be interposed between them.

A "thin" film or layer as herein understood has a thickness from some hundreds to some thousands of Angstroms; a "very thin" layer has a lower thickness.

In the magnetic structure, a further layer of ferromagnetic character may be provided in association with the first-mentioned ferromagnetic material layer, in accordance with the disclosure of French Patent Specification No. 1,383,012. According to French Patent Specification No. 1,383,012, a couple of ferromagnetic material layers are associated with each other the interposition of a very thin layer of non-magnetic metal, illustratively of silver, indium, chromium, manganese, palladium or platinum.

Embodiments of the invention will now be

[Price 25p]

described by way of example only, with reference to the accompanying drawings, wherein:—

Figure 1 shows at (a) an hysteretic cycle along the easy magnetization axis of a magnetic structure used in the storage apparatus according to the invention, graph (b) showing such a cycle with a left-hand shift and graph (c) such a cycle with a right-hand shift;

Figures 2 and 3 respectively show arrangements of magnetic structures of storage apparatus in accordance with the invention;

Figure 4 shows a further magnetic structure of apparatus in accordance with the invention, which structure includes a further ferromagnetic layer in accordance with the above-identified French Patent;

Figure 5 illustratively shows the distribution of magnetic moments in an uniaxial anisotropic layer of ferromagnetic character;

Figure 6 illustratively shows the distribution of magnetic moments in an uniaxial anisotropic layer of antiferromagnetic character;

Figures 7 and 8 respectively show the distribution of the magnetic moments in coupled layers of ferromagnetic and antiferromagnetic materials of uniaxial anisotropy, with respect to the orientation imparted to such magnetic moments in the ferromagnetic layer during the write-in operation;

Figure 9 shows an illustrative embodiment of a storage apparatus comprising read-out conductor arrays associated with a magnetic structure, view (a) showing a cross-section of such a store and view (b) showing a partial temporary condition of the magnetic structure during the manufacture of the store;

Figures 10 and 11 illustrate diagrammatically two ways of reading-out information from a magnetic structure as shown in Figure 9;

Figure 12 shows an illustrative embodiment of a store provided with an optoelectronic sensing read-out;

Figures 13 and 14 illustratively show one form of write-in means for the stores according to the present invention;

Figure 15 shows another write-in means;

Figures 16, 17 and 18 show graphs aiding the explanation of the operation of the stores according to the invention.

In the drawings, and for the sake of clarity, relative dimensioning is not observed.

Figure 1 shows three hysteretic cycles or hysteresis loops, serving to provide a representation of the binary digits 1 and 0 from shifting hysteretic cycles in the magnetic materials, said cycles being substantially rectangular in the direction of easy magnetization of said materials. Each cycle is shown with induction B as ordinate

plotted against the magnetic field H as abscissa. Once an information pattern is read in to the store, the binary digits will be represented by distinct magnetic conditions corresponding to one pair of hysteretic cycles (a) and (b) or (b) and (c) or (a) and (c), according to the magnetic structure conditioning applied from such a write-in operation of digits 1 and 0.

Figures 2, 3 and 4 show three respective composite thin layer magnetic structures wherein magnetic coupling, of a kind hereinafter described, is made between a ferromagnetic layer 2 and an antiferromagnetic layer 1. In Figures 2, 4 and 12, layers 1 and 2 are contacting one another (and possibly, as will be later described, more intimately united than a mere surface to surface contact). As shown in Figure 4, the structure may further include a further ferromagnetic layer 5 coupled to ferromagnetic layer 2 through an interposed thinner layer 6 of non-ferromagnetic material. In the structure shown in Figure 3, layers 1 and 2 are coupled through a very thin layer 4 of an electrically conductive, nonmagnetic material, the thickness of layer 4 being of a thickness of some tens of Angstroms.

In a ferromagnetic material which is magnetically saturated in a direction of orientation, the magnetic momentums attached to the atoms of the material are all aligned in parallel fashion due to the existing molecular field having a value of several millions of Gauss. Each pair of neighbouring atoms is submitted to an exchange interaction of a positive integral. Such a condition is illustrated diagrammatically in Figure 5.

In an antiferromagnetic material which is similarly saturated, the exchange interaction is of a negative integral:—considering the layer divided in thin parallel planes wherein atoms of similar nature are arranged, the magnetic momentums are aligned parallel to each plane but with reversed orientations from plane to plane. Such a condition is illustrated in Figure 6. A remarkable feature of such materials is that the stability of their magnetic condition is absolute unless the material is heated up to a temperature at least equal to a value, known as the Néel temperature, which is characteristic of the metallic composition of said material, and at which the atoms become disorderly or randomly arranged.

Considering for instance a composition structure of the kind of Figure 2 (the result will be the same for a structure according to Figure 3), wherein the ferromagnetic layer is formed with a uniaxial anisotropy axis, such a structure is heated to the said Néel temperature, usually denoted by T_N , or a higher temperature, of the antiferromagnetic material 1 with an externally applied magnetic field acting on both layers with an

orientation along the said anisotropy axis. The structure is then cooled in the presence of said magnetic field so that in the antiferromagnetic material the momentums become so distributed that in the plane near the ferromagnetic surface they align with the momentums in said ferromagnetic material. Figures 7 and 8 show such distributions for reverse conditions of the external magnetic field. Thereafter, after removal of said magnetic field, and at any temperature lower than T_N , due to the strong magnetic interaction created between the two layers, the ferromagnetic layer preserves in its complete thickness the memory of the magnetic condition of the antiferromagnetic material. In other words, the stable condition of magnetization in the ferromagnetic layer, corresponding to a minimum energy, is made duly depending on the direction and orientation of the magnetic momentums of the surface plane network of the antiferromagnetic layer adjacent to the said ferromagnetic layer.

Such a stability of the magnetization demonstrates that the easy magnetization axis of the ferromagnetic material is unidirectional along the orientation line of the external magnetic field which has been temporarily applied during the heating and cooling stages of activation. Hence the hysteretic cycle of the ferromagnetic layer has been shifted in the direction shown in graph (b) of Figure 1 for the condition shown in graph (c) of Figure 1 for the condition shown in Figure 8.

Consequently the structure acts as if the ferromagnetic layer 2 in Figures 2, 3, 4, 9 and 12, in its interaction with layer 1 of antiferromagnetic character, is submitted to a fictitious magnetic coupling field H_i oriented along one direction of the easy magnetization axis; such a coupling field being of a value depending on the quality of the materials of said layers 1 and 2 and the above described processing operation.

In Figure 16, graph (a) shows the hysteretic cycle as measured along the direction of easy orientation of magnetization in a normal uniaxial ferromagnetic layer. Graph (b) shows the cycle of such layer along the perpendicular direction. $H_{//}$ denotes the magnetic field in the direction of the axis of easy magnetization and H_{\perp} denotes the magnetic field in the direction perpendicular thereto. The component M of the magnetization of the layer in the direction of the magnetic field is plotted as ordinate.

In Figure 17, graphs (a) and (b) respectively show the hysteretic cycles in the direction of easy and "difficult" magnetization for a layer which is not strongly coupled, i.e. a layer the coupling field H_i of which is lower than, or of the same order

of magnitude as, the anisotropy field H_K of the ferromagnetic layer. On graph (a) is further shown the coupling field H_i from the shift of the cycle along the direction of easy magnetization. In graph (b) the full line cycle is the cycle for the low coupling layer.

In Figure 18, graphs (a) and (b) show the hysteretic cycles along the easy and difficult directions of magnetization for a ferromagnetic layer presenting a high degree of coupling, i.e. the coupling field H_i much higher than the anisotropy field H_K .

In Figures 16, 17 and 18, M_s denotes the value of saturation of the magnetization. In the graph (b) of Figure 16, point A defines the value of the anisotropy field H_K and point B defines the value of the "word" field H_M which is produced for magnetizing the structure. In Figures 17 and 18, points B^1 and B^{11} correspond to point B of Figure 16. The slopes of the tangents at the origin of such cycles at (b) in said Figures, i.e. the initial susceptances of the ferromagnetic layer, depend on the ratio $M_s/(H_K + H_i)$.

Various methods, to be hereinbelow described, ensure the storing of a pattern of information bits at as many memory points, preferably arranged in rows and columns as usual in the art of binary data information stores, each row (or line) representing a complete word in the pattern.

Figure 9 shows a store in accordance with the invention and having a magnetic structure as shown, for instance, in Figure 4, and read-out means including two arrays of conductors, rows 8 and columns 9, the cross-overs defining the memory points. In this store, read-out operation may be performed by either of the two methods now to be described with reference to Figure 10 or Figure 11.

In Figure 10 is shown a memory point 12 at the cross-over of two conductors 8 and 110 9. The direction of the anisotropy axis is shown at A. Conductor 8 is a word line, i.e. a line along which are distributed the binary digits of an information word. Conductor 9, a column conductor, is orthogonal to conductor 8 and spans over as many conductors 8 as there are words in the store.

For reading out a word, a current I_M is applied to line 8. Said current generates a magnetic field H_M in a direction perpendicular to that of conductor 8 and the anisotropy axis of the ferromagnetic layer of the structure. Said magnetic field H_M is of the same order of magnitude as the anisotropy field H_K of the "read-out" ferromagnetic layer, i.e. layer 5 of Figure 9 for instance. The magnetization of the memory point in Figure 10 is shown by an arrow of same orientation as the current I_M , corresponding for instance to a binary digit 1 130

(the orientation would be reverse for a binary digit 0). Under the action of the word field H_N , the magnetization of the ferromagnetic layer underlying the cross-over point 12 and near such place rotates by an angle which will be hereinafter defined, as indicated by full line arrows; the direction of said rotation obviously depends on the relative orientations of the initial magnetization at 12 and of the current I_N . An electrical current, the polarity of which depends on said direction of rotation is thereby induced in the conductor 9 from which it will be picked out as a read-out signal of the digital content of the memory point 12. An electrical current of substantially identical magnitude but of reverse polarity will be picked off from any conductor 9 activated from a memory point, such as 12, wherein the digital value is a 0. When current L_N disappears, the condition of magnetization of the concerned memory point in the ferromagnetic layer returns to its former state as, of course, the operation occurs at a lower temperature than the disorder temperature of the antiferromagnetic layer so that said antiferromagnetic layer preserves the orientation of the magnetic momentums in its network contacting the ferromagnetic layer; consequently, the complete memory point 12 returns to said preserved condition.

The magnitude of the current in a conductor 9 depends on the value of the angle of rotation of the magnetization in the ferromagnetic layer underlying the memory cross-over point under the action of the word field H_N , equal to or slightly higher than H_K . In a ferromagnetic layer without any coupling at all, such an angle of rotation equals 90° and the electrical current in conductor 9 is at its maximum value. In such a case, the hysteretic cycle followed by the magnetization during the read-out operation is such as shown at OAB, graph (b) of Figure 16.

For a low coupling ferromagnetic layer, the hysteretic cycle followed in similar conditions is shown at (b) in Figure 17, line OB¹. In such a case, the magnetization of such a low coupling ferromagnetic layer rotates by an angle slightly less than 90° and the electrical current collected by the corresponding conductor 9 is slightly lower than the maximum current corresponding to a read-out in a non-coupled layer. Figure 9 shows an arrangement wherein the ferromagnetic layer 5 is slightly coupled to the ferromagnetic layer 2 through the metallic non-magnetic layer 6, as explained in the above mentioned French Patent Specification. On the other hand, the layer 2 is strongly coupled to the antiferromagnetic layer 1.

For a strongly coupled ferromagnetic layer, as in Figure 2, the hysteretic cycle

followed in same conditions as above by the magnetization in the read-out ferromagnetic layer is indicated by OB¹, graph (b) of Figure 18. In such a case, the angle of rotation of the magnetization in the ferromagnetic layer may be made as low as it may be wished from an increase of the value of the coupling field H_i . Use of this possibility in the application of the invention will be hereinafter described.

It must be noted that, as the overall thickness of the thin film magnetic structure is very small, it is quite unimportant that the antiferromagnetic layer is above or under the ferromagnetic layer or layers with respect to the conductor arrays.

As an alternative to the above described read-out operation, the orientations of the word and read-out conductors may be reversed with respect to the axis of anisotropy in the ferromagnetic part of the store. In Figure 11, conductor 8 is perpendicular to the anisotropy axis A and two read-out conductors 9¹ and 9² are shown parallel to axis A. Two memory points of the store 12¹ and 12² are shown. For reading out an information word, a biasing magnetic field H_R is applied perpendicularly to the anisotropy axis and, as in the prior system, an electrical current is applied to the conductor 8 for the generation of a magnetic field H_N parallel to the direction of the easy magnetization axis of the underlying ferromagnetic layer. In such conditions, the magnetization at the memory points rotates by almost 180° in one direction or the contrary one according to its former orientation with respect to the axis A. The output electrical currents induced in conductors 9¹ and 9² are representative of the digital contents of the memory points 12¹ and 12² from their polarities:—for instance, suppose the digital values 0 and 1 were recorded at memory points 12¹ and 12², respectively, then the collected currents from conductors 9¹ and 9², while being of substantially identical magnitudes, will be of opposite polarities. After the read-out, the magnetizations at points 12¹ and 12² return to their former conditions under the influence of the antiferromagnetic layer, as previously explained, and the information is preserved the returns of magnetization are allowed provided the coupling field H_i is higher than the coercive field of the ferromagnetic layer in which the magnetizations have been rotated for the read-out.

A read-out from a ferromagnetic store can be made without any recourse to control conductor activations. Opto-electrical read-out means can be used as in the example shown in Figure 12. A read-out head, comprising for instance a light source 13 and a photoelectric member 14 (which may be photo-emissive, photo-conductive or photo-

voltaic), is mechanically displaced for scanning the surface of the store in accordance with the pattern of information in said store. The light from the head is for instance polarized at 33 and focussed on the surface of the magnetic structure in which said outer surface is a ferromagnetic layer. The reflected light is directed back to the photocell 14 through an analyser 34. The carrier 15 of such an opto-electrical read-out head is not detailed, as it may be of any conventional kind. The scanning may be controlled from any conventional mechanical arrangement also. Of course, for a single displaceable read-out head, one can substitute a mosaic of photocells or photoresistances and either a polarized light source for scanning the ferromagnetic surface, the reflected light pencil of which passes through an analyser and falls on a word line of said mosaic, or a polarized light source lighting the whole of the ferromagnetic surface and reflected back through optical analyser means on the complete surface of the mosaic, in which case the mosaic elements are activated according to a predetermined raster when such elements do not possess individual output leads.

The above description of reading out arrangements and methods has been made in the implication that the read-in had been such that the memory points were obtained with magnetic hysteretic cycles such as shown at (b) and (c) of Figure 1, specially for the description of read-out operations having recourse to conductor arrays. Consequently, the read-out signals for the digit values 0 and 1 were assumed discriminated by their electrical polarities. Use may be made of read-in operations resulting in the discrimination between the digital values 0 and 1 from the hysteretic cycles (a) and (b) or (a) and (c) of Figure 1. The read-out will then give no signal for all memory points wherein the magnetization will follow the cycle (a) and a signal, whatever its polarity may be, for all memory points wherein the magnetization follows the cycle (b) or (c). Such a discrimination is only possible when the shift of the hysteretic cycle is substantial with respect to (a), that is to say when the coupling is tight between the ferromagnetic and antiferromagnetic layers in the structure. When read-out in accordance with Figure 10, the hysteretic cycles in the perpendicular direction to the anisotropy axis will be such as shown in graph (b) of Figure 16 for uncoupled memory points and such as shown in graph (b) of Figure 18 for the tight coupling memory points.

The write-in operation in any magnetic structure according to the invention is based on controlled heating in the presence of an orientating magnetic field. Figures 13 and 14, on the one part, and Figure 15, on the

other part, show two different possible write-in means to effect such a write-in operation.

In Figures 13 and 14, recourse is provided to a perforated mask 17 the perforations of which are made according to a predetermined encoding pattern. For instance, the perforations which are illustratively shown at 19 in an obviously simplified pattern, for the sake of clarity, correspond to memory points wherein digital values 1 must be written-in. The magnetic structure, including its dielectric carrier, is shown as 18. A source of heat, such for instance as a ruby type Laser, is diaphragmed at 21 and its light pencil is directed through optics 22 as a sheet of parallel ray light spanning over the entire area of the mask 17 and said mask is in close proximity to the surface of the magnetic structure 18. Preferably, said mask and said surface are substantially of identical areas in order to avoid the recourse to an additional optics focussing arrangement between the mask and the surface.

Considering the magnetic structure 18 having its antiferromagnetic and ferromagnetic layers magnetically unorganized, or demagnetized, the laser device is activated for the time interval necessary for heating the parts of the structure under the perforations of the mask up to the disorder temperature of the antiferromagnetic material whilst an orientating magnetic field is applied to said magnetic structure. Said field has a constant and predetermined direction, preferably along one of the two directions of the anisotropy axis of the ferromagnetic part of the structure, which axis is of a direction parallel to an edge of the structure 18. The material of the mask 17 may, for instance, be nickel. The source is only "on" for a time interval sufficient to bring the above defined memory points higher than the disorder temperature of an antiferromagnetic layer so that the structure thereafter cools in the presence of the said orientating magnetic field. Such a write-in operation results in the write-in of all the digits of the binary digital value 1, for instance, as defined by the orientation of the applied magnetic field.

This single write-in operation may be considered as sufficient for structures presenting a tight coupling between the antiferromagnetic and ferromagnetic layers, as is for instance the structure of Figure 2. Any read-out, for instance according to Figures 9 and 10, or 11, will give no electrical signal for any and all 0 digits and an electrical signal of a defined polarity for any and all 1 digits.

For a slack coupled magnetic structure, for instance one of the kind shown in Figure 9, and wherein the required read-outs must be marked by signals of opposite polarities for the binary values 1 and 0, the above write-in operation is repeated with substitution for the mask 17 of another mask repre-

70

75

80

85

90

95

100

105

110

115

120

125

130

5 presenting a complementary pattern of perforations such as 19. By the term "complementary" is meant that the substitute mask presents perforations at all places in its surface distinct from the places the perforations 19 of mask 17 occupied. During the heating and cooling steps, the applied orientating magnetic field is of a direction opposite to the first. This second write-in operation does not affect the first result since the memory points already impressed from the first will not reach, in the antiferromagnetic layer, a write-in destroying temperature.

15 Another method consists of firstly heating the complete structure without a mask and letting it cool whilst an orientating magnetic field of a first direction of magnetization is applied. The structure consequently is in its totality magnetically organised or magnetized for representing, at any and all of its memory points, one of the binary digital value, for instance 1. Then a second step is made with a perforated mask at all points which must record a digital value 0, in the presence of an orientating magnetic field of reverse direction with respect to the first. Such a step actually erases the 1 representations at the perforation locations and ensures the write-in of digital values 0 instead.

30 It may be noted that the manufacturing of such a mask as 17 is possible even for a high density of information points as, for instance, a distribution of memory points each having an area of the order of some tens of micron per lateral side. Such manufacture may be achieved using a printed-circuits technique, applied for instance as follows:—a drawing of the mask pattern is made to an enlarged scale on a transparent tracing sheet; said drawing is photographically reduced to the actual size of the mask; a sheet of nickel or other suitable material is laid with a photosensitive layer, said layer being a resist for acid etching operation; 45 the photosensitive layer is sensibilised from photographic exposition to light through the mask pattern represented by such photographically reduced drawing; thereafter the sheet is etched by action of an acid in all parts unprotected by the photosensitive resist (washing having removed all unexposed parts of the photosensitive layer).

50 Illustratively, for a magnetic structure comprising, on a heat resisting glass substrate such as 3, a ferromagnetic layer made of an alloy such as the one commercially known as "Permalloy" (an alloy of nickel and iron approximately in an 80/20% ratio in weight), having an approximate thickness of, for instance, 2000 Å, and an antiferromagnetic layer in an alloy of nickel-iron-manganese, of a thickness of the order of 500 to 600 Å, (a method for producing such an alloy will be hereinbelow described), in a plate having for instance a square shape of

10 cm side, the useful light pulse energy for a write-in operation lasting about one millisecond will only be of the order of 8 Joules. The plane of the mask may be spaced from the surface of the magnetic structure by about one-tenth of a millimetre.

70 A write-in operation may equally be made with a sequential system of the binary digits, as shown for instance from the arrangement of Figure 15. Said arrangement comprises two plates 21 and 22 respectively attached to sliders 25 and 26 and respectively displaced along the X and Y directions of coordinates from the control of electrical motors 23 and 24, preferably step-by-step motors. The magnetic structure member 18 is placed in a well defined position on the upper plate 21. A write-in head, comprising a gas type laser 20 for instance, the light from which is diaphragmed at 27 and focussed in the plane of the surface of the member 18 through optics 28, is associated to such an arrangement. The light focussing is such that the dimension of the light spot substantially corresponds to the required dimension of a memory point.

80 A magnetic or perforated tape 32 bears the read-in programme for the binary digital values 1 (for instance) to introduce in the store. Otherwise termed, such a tape has been prepared for sequentially recording the X and Y coordinates of any memory point at which a binary value 1 representation must be obtained. The tape passes through a tape-reader 31. Each time a pair of X—Y coordinates issues from the tape-reader, and is temporarily stored at 30, a control circuit 29 correspondingly control the positioning of the motors 23 and 24. Note that the steps of said motors may be defined from the decoding of the numerical codes from the tape 32. Each positioning operation also initiates, for instance from the temporary store 30 which includes sequential control reading circuits as usual in tape-controlled equipments of such a kind concerned, the activation of the laser 20 for a light pulse which heats the point of the magnetic structure 18 which has been so positioned at the perpendicular thereof. The heating is such that the point is brought temporarily to the disorder temperature of the antiferromagnetic layer. As an orientating permanent magnetic field is applied to the structure 18, of parallel orientation to one side of said structure, 120 i.e. to one coordinate axis, each reading from the tape will produce the write-in of a digital value 1 at the memory point of the read-out coordinates. The motors may control the moves of the plates through shafts rotated by the motors and screw-threaded into the plates. Actually, numerical positioning controls are already known, of a precision of positioning appropriate to such a write-in operation.

70

75

80

85

90

95

100

105

110

115

120

125

130

For a magnetic structure such as it has been defined above, the peak power required from the gas laser at each "flash" thereof is about .2 Watts for a duration of a light pulse equal to about one millisecond and a light wavelength from .6 to 1 micron for instance.

As in the above described case for a global write-in, such a numerical control system may be operated in two successive steps when the magnetic structure 18 is formerly in an unorganized magnetization condition and when, for the read-outs, signals of opposite polarities are wanted for representing the 0's and the 1's. A single operation will suffice when the structure is already organized in a magnetization condition storing a determined binary digital value at all memory points thereof. A single operation will further suffice when, starting from an unorganized structure, the read-out conditions must be a signal for one of the binary digital values and no signal for the other one.

It is apparent from the above that a store according to the invention may be easily erased by bringing the magnetic structure at a higher temperature than the disorder temperature of the antiferromagnetic layer it comprises. When made in the presence of an orientating magnetic field, and cooling under such condition, a write-in is or may be effected simultaneously to erasure as also obvious from the above. Of course, when the store includes conductor arrays, said arrays must be removed from the magnetic structure prior to erasure and/or write-in.

When the store includes conductor arrays, they are applied to the magnetic structure after the write-in is made. The manufacture and positioning of such arrays may be made according to already known methods as, for instance a printed-circuit technique one. The arrays may for instance be etched from a sheet consisting of a metallic coating over each side of a very thin insulating sheet of such a plastic material as, for instance, known under the commercial trade-mark "Mylar"; thereafter the sheet carrying the conductor arrays may be glued on the surface of the magnetic structure with an appropriate dielectric resin; said sheet and said surface having previously been suitably indexed. It is easy to maintain a precision lower than 10 microns as well for the printing of the conductors as for the uniting operation (and of course for the write-in of the memory points in the structure). Considering the relative positioning of the sheet and the structure, it is even easy to obtain a precision of the order of three to four microns for an area of about $10 \times 10 \text{ cm}^2$. As each area of a memory point may be, for instance, of the order of 100 microns, such conditions may be largely preserved.

Of course, a more definite indexing will be provided for higher density of information in a store.

Considering now the materials for embodying the thin film magnetic structures of the stores according to the invention:—ferromagnetic property materials are numerous and well known as, for instance and illustratively, cobalt, nickel-iron alloys and complexes of such materials. Similarly antiferromagnetic materials are well known as for instance cobalt oxide, chromium oxide and iron-nickel-manganese alloys, for instance. A magnetic structure of a store according to the invention may consequently comprise for instance the following pairs of layers:—cobalt/cobalt oxide, nickel-iron/chromium oxide, nickel-iron/nickel-iron-manganese, and so on. Illustratively, all such thin magnetic layers may be produced from deposition under vacuum, i.e. evaporation process, of the component elements under well known controlled conditions, mainly for obtaining the suitable ratios in the alloys. Illustratively further, a few examples will be described with reference to the pair of material constituted by nickel-iron (ferromagnetic) and nickel-iron-manganese (antiferromagnetic) structures.

Considering first a structure as shown in Figure 9, view (a), a first thin layer 5 of nickel-iron alloy of the 80% iron/20% nickel kind is coated on the carrier 3, made for instance of a high temperature dielectric glass. The layer 5 is for instance of a thickness neighbouring 1250 Å. It is coated in the presence of a magnetic field defining an axis of anisotropy for the film. Said field will be present in all the further steps to be described. Thereafter, from a further evaporating process, a very thin layer of a non-magnetic metal, gold for instance, is coated with a thickness of about 45 Å. Thereafter a further iron-nickel layer is coated on the gold film up to a thickness of about 350 Å for instance. The coating is effected at a temperature of the order of 300°C. Further, at the same temperature a coating 7 of manganese is applied, as shown in view (b) of Figure 9, up to a thickness of about 150 to 200 Å. The structure is annealed at 300°C for about one hour. During this annealing, the manganese diffuses into the upper portion of the layer 2 and consequently the antiferromagnetic layer 1 is obtained with a tight coupling to the ferromagnetic layer 2 proper. Obviously the above defined steps could be reversed for obtaining the antiferromagnetic layer underlying the ferromagnetic layers, i.e. coating first the substrate 3 with a layer of manganese, evaporating the nickel-iron layer over the manganese, then the gold film and finally the second ferromagnetic layer 5; the annealing will give a similar result as the above one,

the manganese diffusing in the layer 2 for constituting the layer 1. The latter method is of advantage in that the first coated manganese layer is protected during the annealing, which avoids conditioning the atmosphere as in the first method, as manganese is not a stable element in uncontrollable atmosphere.

It is obvious that the method results in a concentration of manganese within the antiferromagnetic layer which varies with the thickness. Actually, one must understand that the Néel temperature, or temperature of disorder, as hereinabove defined is not of a definite value but exists within a temperature interval from a minimum T_N value (which will be the highest temperature for the use of the store whilst preserving the information stored) and a maximum T_N value, which will however be suitably relatively low for the erasing and write-in operation or operations. Illustratively, such a temperature interval, as obtained from the above described conditions of operation, is from about 100°C to about 200°C. Consequently, the write in operations and the normal operation of the store will be easily satisfied. The coupling field H_i is of about 60 Oersteds with a coupling energy between the layers 1 and 2 of about .15 erg/cm².

The value of the coupling field H_i increases with the length of time of the diffusion process, as may be proved from successive annealing operations. However the temperature of disorder remains substantially unchanged. For such matters, one may refer to a communication in the names of Messrs. O. Massenet, R. Montmory and L. Neel under the title "Magnetic Properties of multilayer films of FeNi-Mn-FeNiCo and of FeNi-Mn" in "Proceedings of Intermagn Conference", 1964 Session 12, Communication No. 12-2, pages 12.2.1—12.2.2 (see mainly Figure 2 and the description thereof).

Of course, it is possible to obtain a ternary alloy layer of Fe, Ni and Mn from simultaneous evaporation of these three elements in the required proportions, corresponding to the above. The resulting layer presents a substantially homogeneous distribution of manganese throughout its thickness. It has been found that it is the temperature which is maintained in the ternary alloy during its formation which primarily determines the temperature T_N of the antiferromagnetic alloy produced. It has been experimentally proved that a variation by a coefficient 4 in the relative concentrations of iron, nickel and manganese in the resulting solid solution constituting the ternary alloy layer does not substantially effect the value of the magnetic coupling field and the Néel or disorder temperature, so far as the application of the magnetic structures in magnetic stores is concerned.

Such phenomenon may be explained by considering that the only important factor is the relative interaction profile between iron-nickel and manganese and that the coupling between the iron-nickel layer and the iron-nickel-manganese layer is a phenomenon of exchange of spins between adjacent spins and consequently occurs at atomic distance scale. The useful contact territory between the two layers is actually restricted to a distance equal to only a few times the inter-atomic distances whereas the inter-diffusion of the atoms of manganese and iron-nickel, for the concerned temperatures, concerns far more larger distances.

In a magnetic structure according to Figure 9 or Figure 4, a further ferromagnetic layer 5 is coupled to the layer 2 through a very thin film 6 the thickness of which determines such a coupling. As layer 2 is very tightly coupled to the antiferromagnetic layer 1, it is the layer 5 which is used as a "read-out" layer in the store, i.e. it is the magnetization of the memory points in said layer 5 which will rotate as it has been described in relation to Figures 10 and 11, and the magnetization in layer 2 will remain practically unaffected.

In such an embodiment as Figure 9, the useful read-out signal is of an amplitude higher than one millivolt for pulses of the field H_N presenting a rise time of the order of 10 nanoseconds.

Without such a specialised read-out layer 5, the magnetic structure must be adapted to enable the layer 2 to operate as a read-out layer. The layer 2 is normally coupled to the layer 1 by a coupling field H_i of too high a value to permit variations of magnetizations at the memory points of said ferromagnetic layer 2. First, a reduction of the coupling field may be obtained as shown in Figure 3 from the interposition of a thin non-magnetic layer 4 between the layers 1 and 2. However, though such an arrangement is workable, it presents a tendency to some instability and is of relatively low response to the application of read-out pulses. Of course, what is presently discussed is the case of the stores comprising conductor arrays and electrical read-out as, obviously, there is no problem of such a kind when tight-coupled structures, such as one according to Figure 1, are used in optical read-out stores.

Experiment demonstrated to the Applicants that when a tight-coupled structure, such as one according to Figure 1, is cooled in the presence of a magnetic field of alternating character from the disorder temperature range to a lower temperature, the coupling between the ferromagnetic and antiferromagnetic layers disappears. Preferably though not imperatively, said magnetic field is orientated in the direction of the aniso-

trophy axis of the ferromagnetic layer. On the other hand, such a de-coupled structure, when heated to the disorder temperature range and cooled anew in the presence of a permanent magnetic field, returns to its condition of tight coupling between its layers.

The following method may consequently be used for preparing a structure as shown in Figure 1 or Figure 12 and adapted to an electrical read-out in a store wherein it is associated to conductor arrays:—

Once a two layer tight-coupled structure has been prepared as previously described, then prior to a write-in operation, the structure is heated in the range of its disorder temperature in the presence of an alternating magnetic field orientated in the direction of the anisotropy axis of the ferromagnetic layer, of an amplitude of about, for instance, 20 Oe, and thereafter cooled in the presence of such a magnetic field. The coupling between the ferromagnetic and antiferromagnetic layers disappears. Then the whole set of information binary digits of a single value, 0's for instance, are written-in at the appropriate memory points from localized application of heat up to said disorder temperature range in the presence of a permanent magnetic field of such an amplitude that it saturates the complete ferromagnetic layer in one direction of the anisotropy axis thereof. Cooling under such field is effected, which re-establishes the tight coupling between the two layers solely at the write-in points and consequently "blocks" the magnetization in said ferromagnetic layer at such memory points. The resulting magnetic structure of the store has a uniaxial anisotropy saturated ferromagnetic layer with only the write-in memory points blocked from the interaction with the antiferromagnetic layer. Any other memory point, when written-in, will give an output electrical signal since the ferromagnetic layer will have its magnetization rotate as it has been explained hereinbefore with reference to Figure 16, as such point is not coupled to the antiferromagnetic layer. A binary digit 1 will consequently be read-out at any such uncoupled memory point. On the other hand, each memory point whereat the ferromagnetic and antiferromagnetic layers are tightly coupled will give no output electrical signal at all when read-out. In the store, the magnetic structure must be submitted to a low value magnetic field, orientated in either one or the other of the directions of the anisotropy axis, said field acting for resetting back the magnetization of the 1's memory points after each read-out operation thereof.

One of the advantages of such a magnetic structure arrangement is that it is deprived of demagnetizing fields at the memory points since the ferromagnetic layer is saturated in a rest direction, and consequently the pos-

sibility of increase of the density of information is higher than for the preceding structures having two directions along the anisotropy axis for representing the two binary values and which, obviously then, present such demagnetizing fields.

Further, since the ferromagnetic layer remains saturated in the rest condition, whatever is the information content of the store, it is not imperative to apply an external magnetic field for the write-in operation provided the ferromagnetic layer be previously saturated in the one or the other of the directions of its anisotropy axis.

WHAT WE CLAIM IS:—

1. A binary information storage apparatus comprising the combination of a thin layer magnetic structure having an antiferromagnetic materials layer and a ferromagnetic layer of uniaxial anisotropy arranged for magnetic interaction over at least part of the registering surfaces thereof, and means for thermo-magnetically writing information into said structure.
2. A binary information storage apparatus comprising the combination of a thin layer magnetic structure having an antiferromagnetic material layer and a ferromagnetic layer of uniaxial anisotropy arranged for magnetic interaction over at least part of the registering surfaces thereof, and means for reading-out from said structure any information stored thereon.
3. A binary information storage apparatus according to claim 2, further comprising means for thermo-magnetically writing information into said structure.
4. A binary information storage apparatus according to any one of claims 1 to 3, wherein said antiferromagnetic layer and said ferromagnetic layer directly contact one another in said structure.
5. A binary information storage apparatus according to any one of claims 1 to 3, wherein a film of non-magnetic material is interposed between said antiferromagnetic layer and said ferromagnetic layer.
6. A binary information storage apparatus according to any one of claims 1 to 3, wherein said antiferromagnetic layer comprises an intrinsically ferromagnetic alloy doped with an element imparting an antiferromagnetic character to said alloy.
7. A binary information storage apparatus according to claim 6, wherein the said ferromagnetic alloy further constitutes the material of the ferromagnetic layer proper.
8. A binary information storage apparatus according to claim 7, wherein the antiferromagnetic and ferromagnetic material layers are integral and passage from the material doped for antiferromagnetic character to the undoped ferromagnetic material is progressive in the thickness of the structure.

9. A binary information storage apparatus according to claim 5 wherein said non-magnetic material is electrically conductive.

10. A binary information storage apparatus according to claim 1 or 3, or any of claims 4 to 9 when appended to claim 1 or 3, wherein said means for selectively writing-in information into said structure includes means for temporarily heating selective localized points of said structure to the disorder temperature range of said antiferromagnetic material and cooling said structure in the presence of an orientating permanent magnetic field directed in one direction along the axis of anisotropy of said ferromagnetic material.

11. A binary information storage apparatus according to claim 10, wherein said selective heating means includes a heat arresting perforated mask in front of said structure and a source of radiant heat for temporarily directing radiant heat toward the outer surface of said mask.

12. A binary information storage apparatus according to claim 10, wherein said selective heating means includes a source of radiant heat, means for displacing said source over the surface of said structure and indexing said source in each of a plurality of selective positions and means for temporarily activating said source at each one of such indexed positions.

13. A binary information storage apparatus according to claim 10, wherein said means for selectively writing-in information onto said structure includes means for decoupling the said antiferromagnetic and ferromagnetic layers prior to the selective application of heat thereto.

14. A binary information storage apparatus according to claim 13, wherein said decoupling means includes means for heating the structure as a whole to the disorder temperature range of said antiferromagnetic material and cooling it in the presence of an alternating magnetic field orientated along the axis of anisotropy of said ferromagnetic material.

15. A binary information storage apparatus according to claim 13, wherein the value of said permanent magnetic field in a writing-in operation is such as to saturate the ferromagnetic layer along the direction of its axis of anisotropy.

16. A binary information storage apparatus according to claim 2 or 3, or any of claims 4 to 15 when appended to claim 2 to 3, wherein said means for selectively reading-out information comprises opto-electrical means.

17. A binary information storage apparatus according to claim 16, wherein said opto-electrical means comprises a source of polarized light for illuminating at least selective portions of said structure at each read-out operation and means for receiving the reflected light through polarization optical analyser means onto an opto-electrical converter.

18. A binary information storage apparatus according to claim 2 or 3, or any of claims 4 to 15 when appended to claim 2 or 3, wherein said read-out means comprises electrical pulse activated induction means.

19. A binary information storage apparatus according to claim 18, wherein said electrical pulse activated induction means comprises a pair of arrays of conductors applied over the magnetic structure, the conductors in one array crossing the conductors of the other array at right angles, means for selectively applying electrical pulses to the conductors in one array and means for collecting the electrical currents induced therefrom in the conductors of the other array.

20. A binary information storage apparatus according to claim 19, wherein the conductors to which said electrical pulses are applied run at right angles to the axis of anisotropy of said ferromagnetic layer.

21. A binary information storage apparatus according to claim 19, wherein the conductors to which said electrical pulses are applied run at right angles to the axis of anisotropy of said ferromagnetic layer and means are provided for creating a magnetic field perpendicular to said axis of anisotropy but in the plane of said structure simultaneously with application of said pulses to said conductors.

22. A binary information storage apparatus according to any preceding claim, wherein said thin layer magnetic structure further comprises an additional ferromagnetic material layer of uniaxial anisotropy over the first-mentioned ferromagnetic material layer, with a film of non-magnetic electrically conductive material interposed between said ferromagnetic material layers.

23. A binary information storage apparatus substantially as herein described with reference to the accompanying drawings.

A. A. THORNTON & CO.,
Chartered Patent Agents,
Northumberland House,
303-306 High Holborn,
London, W.C.1.

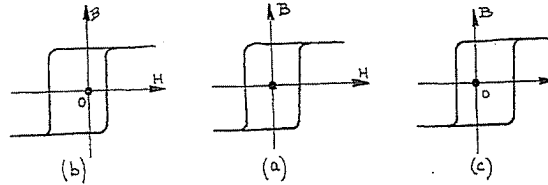


Fig. 1

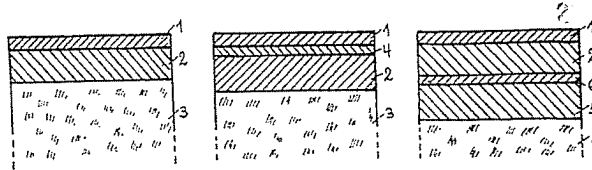


Fig. 2

Fig. 3

Fig. 4

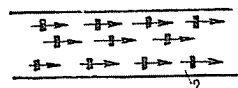


Fig. 5

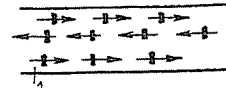


Fig. 6

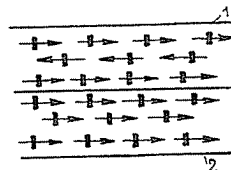


Fig. 7

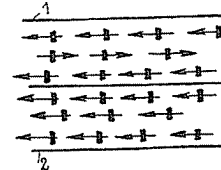


Fig. 8

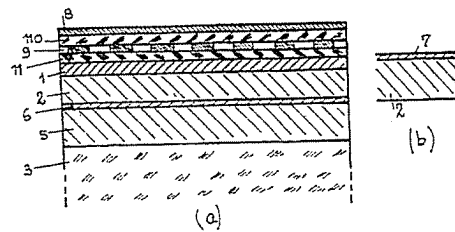


Fig. 9

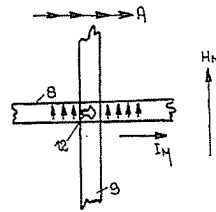


Fig. 10

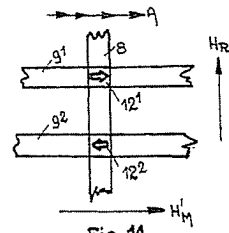


Fig. 11

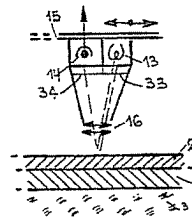


Fig. 12

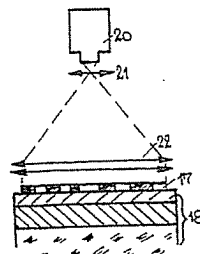


Fig. 13

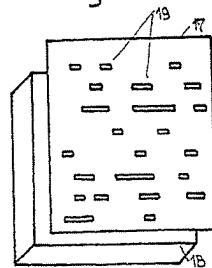


Fig. 14

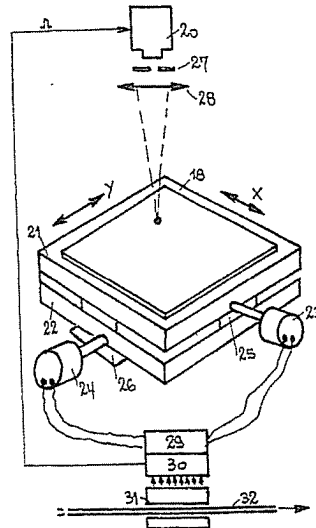


Fig. 15

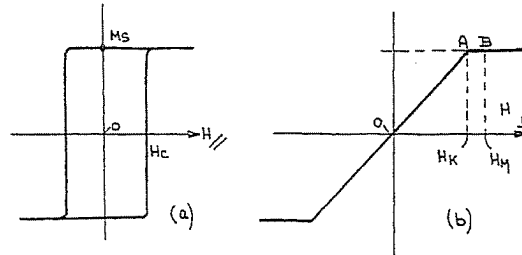


Fig. 16

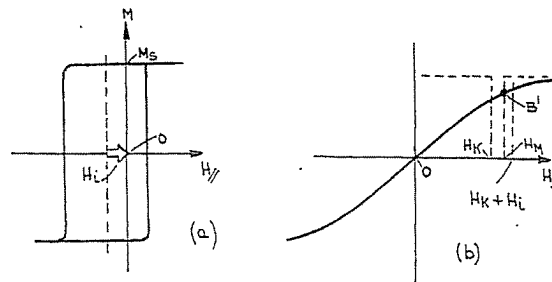


Fig. 17

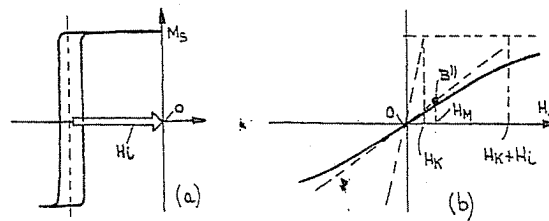


Fig. 18

51

Int. Cl. 2:

G 11 C 13/00

19 BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES



PATENTAMT

 1
16
2

DT 17 74 058 C 3.

Patentschrift 17 74 058

11

21

22

43

44

45

Aktenzeichen: P 17 74 058.8-53
 Anmeldetag: 28. 3. 68
 Offenlegungstag: 25. 11. 71
 Bekanntmachungstag: 24. 6. 76
 Ausgabetag: 13. 2. 77
 Patentschrift stimmt mit der Auslegeschrift überein

31

Unionspriorität:

32 33 31

29. 3. 67 Frankreich 100738

54

Bezeichnung:

Zerstörungsfrei auslesbarer ruhender Magnetschichtspeicher

73

Patentiert für:

Centre National de la Recherche Scientifique, Paris;
 Compagnie Internationale pour l' Informatique,
 Les Clayes-sous-Bois (Frankreich)

74

Vertreter:

Prinz, E., Dipl.-Ing.; Hauser, G., Dr.rer.nat.; Leiser, G., Dipl.-Ing.;
 Pat.-Anwälte, 8000 München

72

Erfinder:

Valin, Jean, Les Essarts Le Roi; Bruyere, Jean Claude,
 Sayssinet (Frankreich)

55

Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

DT-PS 11 83 546

GB 7 45 738

US 27 34 034

KiMel, Charles: Einführung in die
 Festkörperphysik, 2. Aufl., 1969, S. 559

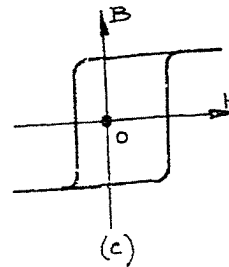
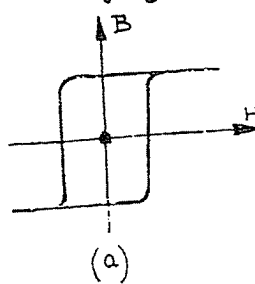
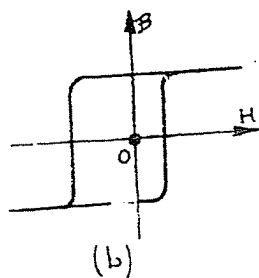


fig.1

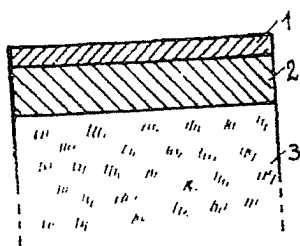


Fig. 2

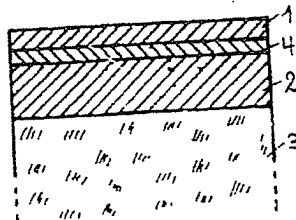


Fig. 3

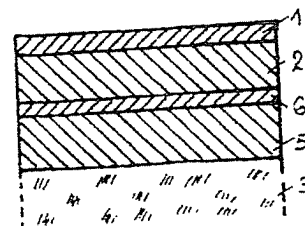


Fig. 4

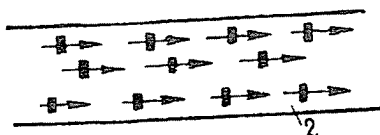


Fig. 5

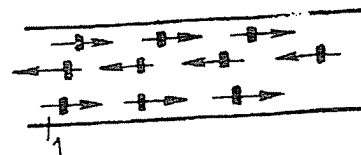


Fig. 6

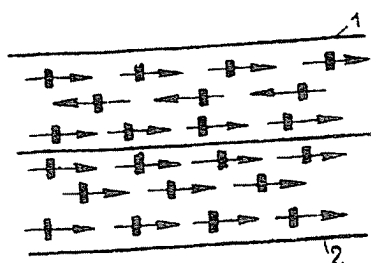


Fig. 7

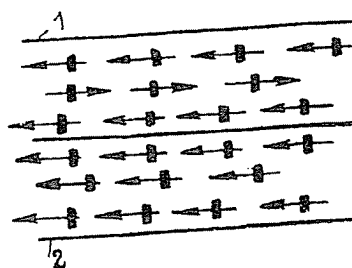
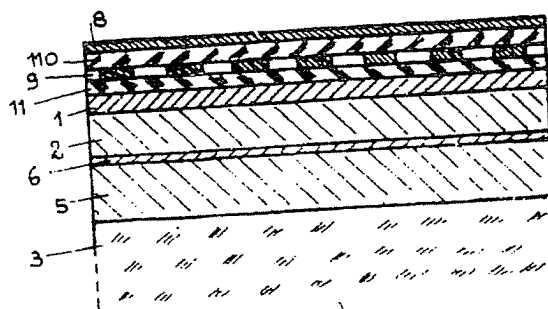
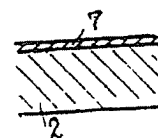


Fig. 8



(a)



(b)

Fig. 9

Patentansprüche:

1. Zerstörungsfrei auslesbarer ruhender Magnetschichtspeicher für binäre Informationen, mit einer eine Speicherebene bildenden Magnetschichtstruktur, die wenigstens eine dünne ferromagnetische Schicht mit einachsiger Anisotropie enthält, in welcher die Binärzeichen durch unterschiedliche Magnetisierungszustände von Speicherpunkten aufgezeichnet sind, und mit Einrichtungen zum zerstörungsfreien Ablesen der aufgezeichneten Binärzeichen, dadurch gekennzeichnet, daß die Magnetschichtstruktur eine dünne Schicht aus einem antiferromagnetischen Material enthält, dessen Néel-Temperatur oberhalb der normalen Lesebetriebstemperatur des Speichers liegt, daß die antiferromagnetische Schicht (1) wenigstens an den einem bestimmten Binärzeichen zugeordneten Speicherpunkten in enger Austauschkopplung mit der anisotropen ferromagnetischen Speicherschicht (2) steht, und daß die Binärzeichen auf magnetothermischem Wege in die Magnetschichtstruktur einschreibbar sind.

2. Magnetschichtspeicher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Material der antiferromagnetischen Schicht (1) in an sich bekannter Weise eine ferromagnetische Legierung ist, die ein eindiffundiertes zusätzliches Element enthält, das ihr die antiferromagnetische Eigenschaft erteilt.

3. Magnetschichtspeicher nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die ferromagnetische Schicht (2) und die in enger Austauschkopplung mit dieser stehende antiferromagnetische Schicht (1) aus einer gemeinsamen Schicht dadurch gebildet sind, daß das zusätzliche Element nur über einen Teil der Dicke der gemeinsamen Schicht eindiffundiert ist.

4. Magnetschichtspeicher nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß zum Ablesen der Binärzeichen wenigstens zwei Netze von zueinander senkrechten Leitern (8, 9) auf die Speicherebene aufgebracht sind, und daß die antiferromagnetische Schicht (1) in direktem Kontakt mit der ferromagnetischen Schicht (2) steht, an allen Stellen, die der Speicherung eines bestimmten Binärzeichens dienen und an denen die ferromagnetische Schicht (2) gesättigt ist, von dieser entkoppelt ist und nur an allen übrigen Stellen in enger Austauschkopplung mit der ferromagnetischen Schicht (2) steht.

5. Magnetschichtspeicher nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß zum Ablesen der Binärzeichen wenigstens zwei Netze von zueinander senkrechten Leitern (8, 9) auf die Speicherebene aufgebracht sind, daß die antiferromagnetische Schicht (1) in direktem Kontakt und in enger Austauschkopplung mit der ferromagnetischen Schicht (2) steht und daß eine zweite ferromagnetische Schicht (5) mit der ersten Schicht über eine dazwischen eingefügte, sehr dünne Schicht (6) aus einem nichtmagnetischen Material gekoppelt ist.

6. Magnetschichtspeicher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zum Ablesen der Binärzeichen wenigstens zwei Netze von zueinander senkrechten Leitern (8, 9) auf die Speicherebene

aufgebracht sind, und daß eine sehr dünne Schicht (4) aus einem nichtmagnetischen Material zwischen die antiferromagnetische Schicht (1) und die ferromagnetische Schicht (2) eingefügt ist, um die Austauschkopplung zwischen diesen beiden Schichten auf einen Grad herabzusetzen, der eine gewisse Freiheit der Drehung der Magnetisierungsvektoren der ferromagnetischen Schicht (2) unter der Einwirkung der nach Bedarf in den Leitern (8, 9) erzeugten Auswahlfelder ermöglicht.

7. Magnetschichtspeicher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das zerstörungsfreie Ablesen der Binärzeichen in an sich bekannter Weise auf elektrooptischem Wege erfolgt.

Die Erfindung bezieht sich auf einen zerstörungsfrei auslesbaren ruhenden Magnetschichtspeicher für binäre Informationen, mit einer eine Speicherebene bildenden Magnetschichtstruktur, die wenigstens eine dünne ferromagnetische Schicht mit einachsiger Anisotropie enthält, in welcher die Binärzeichen durch unterschiedliche Magnetisierungszustände von Speicherpunkten aufgezeichnet sind, und mit Einrichtungen zum zerstörungsfreien Ablesen der aufgezeichneten Binärzeichen.

Unter dünnen Schichten sind hier, im Gegensatz zu den dicken Schichten der Aufzeichnungsträger von beweglichen Magnetspeichern, wie Magnetplatten, Magnettrommeln und Magnetbändern, Schichten zu verstehen, deren Dicke in der Größenordnung von einigen hundert bis einigen tausend Angström liegt; falls in der Magnetschichtstruktur außerdem noch »sehr dünne« Schichten oder »Filme« enthalten sind, ist deren Dicke noch um wenigstens eine Größenordnung kleiner.

Bei derartigen Magnetschichtstrukturen weisen die Speicherpunkte, an denen jeweils ein Binärzeichen aufgezeichnet ist, je nach dem Ziffernwert »0« oder »1« verschiedene Magnetisierungszustände auf. Es ist insbesondere bekannt, die Binärzeichen dadurch aufzuzeichnen, daß die rechteckige Hysteresisschleife entlang der Achse leichter Magnetisierbarkeit in der einen oder der anderen Richtung verschoben wird. Es ist auch bekannt, ein zerstörungsfreies Ablesen des Inhalts solcher Speicher entweder durch Ausnutzung des magneto-optischen Kerr-Effekts vorzunehmen, oder durch eine teilweise Drehung der Magnetisierungsvektoren von ausgewählten Speicherpunkten um einen Winkel von weniger als 90° , so daß der Magnetisierungsvektor nach dem Aufhören der Erregung je nach der vorhergehenden Orientierung in die Richtung der leichten Magnetisierungsachse zurückfällt. Derartige Leseverfahren werden nachstehend »zerstörungsfreies Ablesen« genannt.

Die Erfindung befaßt sich insbesondere mit Magnetschichtspeichern dieser Art, die als Festwertspeicher betrieben werden, also mit Speichern, die im Betrieb nicht mit Einschreibeinrichtungen ausgestattet sind, deren Inhalt aber durch außerhalb des Speichers befindliche Einschreibeinrichtungen bei Bedarf geändert werden kann. Vom Standpunkt der Verwendung aus handelt es sich also um sogenannte »read only memories«.

Bei den ruhenden Magnetschichtspeichern dieser Art bestehen, im Gegensatz zu den Magnetspeichern mit dicken Schichten auf beweglichen Aufzeichnungsträgern die beiden nachstehend angegebenen Haupt-schwierigkeiten:

a) Die Erscheinung der Bloch-Wand-Bewegungen:

Unter der wiederholten Einwirkung von Magnetfeldern auf einen Speicherpunkt (und zwar sowohl von äußeren Störfeldern als auch von Magnetfeldern, die sich aus dem Betrieb des Speichers ergeben, wie Entmagnetisierungsfeldern benachbarter Speicherpunkte, vorübergehenden Feldern bei der Koinzidenzansteuerung von Informationen usw.) verändert sich der Magnetisierungszustand des Speicherpunktes langsam infolge einer Verschiebung der Wände zwischen den Magnetisierungsbereichen, wodurch eine gewisse Verschlechterung der im Speicher aufgezeichneten Information eintritt. Diese Erscheinung ist besonders bei Festwertspeichern nachteilig, bei denen die Information nicht bei jedem Lesen erneuert oder von Zeit zu Zeit »aufgefrischt« wird.

b) Die unzureichende Größe der Koerzitivfeldstärke bekannter anisotroper ferromagnetischer Materialien: Diese Erscheinung begünstigt einerseits die Neigung zu Bloch-Wand-Bewegungen und verhindert andererseits die Erzielung einer großen Informationsdichte, denn das von einem Speicherpunkt ausgehende Entmagnetisierungsfeld muß kleiner als die Koerzitivfeldstärke des Materials sein. Nun ist aber bekanntlich das Entmagnetisierungsfeld in erster Annäherung proportional zu der Länge des Speicherpunktes in der Richtung der leichten Achse und umgekehrt proportional zu der Dicke der Schicht: somit können nur verhältnismäßig große Speicherpunkte als einigermaßen stabil angesehen werden.

In dem Aufsatz »Magneto-Optic Computer Memory-Element« in der Zeitschrift »The electronic Engineer«, vol. 25, No. 12, Dezember 1966, Seite 23 ist ein Festwertspeicher beschrieben, der aus einer Schicht von ferrimagnetischen Granatkristallen gebildet ist. Bekanntlich hat eine ferrimagnetische Substanz, im Gegensatz zu einer ferromagnetischen Substanz, nur bei einer einzigen Temperatur, nämlich der sogenannten »Kompensationstemperatur« eine stabile kristalline Struktur, während sie diese Stabilität bei einer Abweichung in der einen oder der anderen Richtung von diesem Kompensationswert sofort verliert. Ein Speicher, dessen Temperatur sehr genau auf einen konstanten Wert geregelt werden muß, ist jedoch in der Praxis wenig brauchbar. Das Einschreiben in diesen bekannten Speicher erfolgt auf magnetothermischem Wege, doch kann das Lesen nur auf optischem Wege erfolgen.

In dem Aufsatz »Magneto-Optical Variable Memory based upon the Properties of a Transparent Ferrimagnetic Garnet at its Compensation Temperature« von J. T. Chang usw. in der Zeitschrift »Journal of Applied Physics« vol. 36, No. 3, Teil 2, März 1965 ist ein weiterer wichtiger Nachteil der Magnetschichtspeicher aus Granatkristallen angegeben: zur Verringerung der thermischen und magnetischen Wechselwirkungen zwischen den Speicherzellen müssen Barrieren ausgebildet werden. Bei einem Granatkristall-Magnetschichtspeicher kann also eine echte ma-

gnetische Stabilität nur auf Kosten einer Verringerung der Speicherdichte infolge der Ausbildung solcher Barrieren erreicht werden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen zerstörungsfrei auslesbaren ruhenden Magnetschichtspeicher der eingangs angegebenen Art zur Verwendung als Festwertspeicher zu schaffen, der beliebig oft auslesbar ist und dabei vollkommen gegen die Auswirkungen der Wandverschiebungen und äußerer Entmagnetisierungsfelder geschützt ist, ohne daß er den Einschränkungen der Speicher mit Granatkristallen unterworfen ist.

Nach der Erfindung wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß die Magnetschichtstruktur aus einer dünnen Schicht aus einem antiferromagnetischen Material besteht, dessen Néel-Temperatur oberhalb der normalen Lesebetriebstemperatur des Speichers liegt, daß die antiferromagnetische Schicht wenigstens an den einem bestimmten Binärzeichen zugeordneten Speicherpunkten in enger Austauschkopplung mit der anisotropen ferromagnetischen Speicherschicht steht, und daß die Binärzeichen auf magnetothermischem Wege in die Magnetschichtstruktur einschreibbar sind.

Die erfindungsgemäße Ausbildung des Magnetschichtspeichers ergibt die Wirkung, daß der Magnetisierungszustand der anisotropen Speicherschicht nach dem Einschreiben der Information durch die enge Austauschkopplung mit einer antiferromagnetischen Schicht wenigstens an den Stellen, an denen bestimmte Binärzeichen gespeichert sind, »blockiert« wird. Hinsichtlich der Betriebstemperatur für einen solchen Speicher bestehen keine Einschränkungen, vorausgesetzt, daß das Material der antiferromagnetischen Schicht so gewählt ist, daß die Betriebstemperatur beim Lesen stets unter der Néel-Temperatur liegt.

Ferner ist eine vollkommene Stabilität der gespeicherten Information gewährleistet, so daß die Mängel der klassischen Magnetschichtspeicher mit dünnen ferromagnetischen Schichten und auch die Mängel der Magnetschichtspeicher mit ferrimagnetischen Kristallen beseitigt sind. Infolge der erzielten magnetischen Stabilität besteht auch keine Beschränkung hinsichtlich der erzielbaren Speicherdichte.

Selbst wenn die antiferromagnetische Schicht über ihre ganze Ausdehnung in enger Austauschkopplung mit der ferromagnetischen Schicht steht, kann ein solcher Speicher jederzeit auf optischem Wege abgelesen werden.

Bevorzugte Ausgestaltungen des Erfindungsgegenstandes ermöglichen aber auch ein Ablesen in der bei ruhenden Magnetschichtspeichern bevorzugten Weise durch vorübergehende Ummagnetisierung mit Hilfe von Strömen, die durch bestimmte Leiter von sich kreuzenden Leiternetzen geschickt werden, die der Magnetschichtstruktur zugeordnet sind.

Gemäß einer ersten Ausführungsform des Magnetschichtspeichers nach der Erfindung geschieht dies dadurch, daß zum Ablesen der Binärzeichen wenigstens zwei Netze von zueinander senkrechten Leitern auf die Speicherebene aufgebracht sind, und daß die antiferromagnetische Schicht in direktem Kontakt mit der ferromagnetischen Schicht steht, an allen Stellen, die der Speicherung eines bestimmten Binärzeichens dienen und an denen die ferromagnetische Schicht gesättigt ist, von dieser entkoppelt ist und nur an allen übrigen Stellen in enger Austauschkopplung mit der ferromagnetischen Schicht steht.

Bei dieser Ausführungsform können die beiden Binärzeichen beim Ablesen dadurch unterschieden werden, daß bei dem einen Binärzeichen (z. B. dem Binärzeichen 1) ein Drehen des Magnetisierungsvektors möglich ist und somit ein Ausgangssignal erhalten wird, während bei dem anderen Binärzeichen (also dem Binärzeichen 0) ein Drehen des Magnetisierungsvektors durch die Blockierung verhindert wird.

Eine zweite Ausführungsform des Magnetschichtspeichers nach der Erfindung besteht darin, daß zum Ablesen der Binärzeichen wenigstens zwei Netze von zueinander senkrechten Leitern auf die Speicherebene aufgebracht sind, daß die antiferromagnetische Schicht in direktem Kontakt und in enger Austauschkopplung mit der ferromagnetischen Schicht steht, und daß eine zweite ferromagnetische Schicht mit der ersten Schicht über eine dazwischen eingefügte, sehr dünne Schicht aus einem nichtmagnetischen Material gekoppelt ist.

Bei dieser Ausführungsform ist es durch Anlegen von Wahlströmen möglich, die gespeicherte Information durch Drehung des Magnetisierungsvektors der zweiten ferromagnetischen Schicht um 90° in der üblichen Weise zu lesen; nach dem Abschalten der Ströme fällt der Magnetisierungsvektor der zweiten ferromagnetischen Schicht wieder in die durch den Magnetisierungszustand der »blockierten« ferromagnetischen Schicht bestimmte Richtung zurück.

Schließlich besteht eine dritte Ausführungsform des Magnetschichtspeichers nach der Erfindung darin, daß zum Ablesen der Binärzeichen wenigstens zwei Netze von zueinander senkrechten Leitern auf die Speicherebene aufgebracht sind, und daß eine sehr dünne Schicht aus einem nichtmagnetischen Material zwischen die antiferromagnetische Schicht und die ferromagnetische Schicht eingefügt ist, um die Austauschkopplung zwischen diesen beiden Schichten auf einen Grad herabzusetzen, der eine gewisse Freiheit der Drehung der Magnetisierungsvektoren der ferromagnetischen Schicht unter der Einwirkung der nach Bedarf in den Leiternetzen erzeugten Auswahlfelder ermöglicht.

Bei dieser Ausführungsform ermöglicht die sehr dünne Schicht im Ruhezustand das Blockieren des Magnetisierungszustandes der ferromagnetischen Speicherschicht durch die antiferromagnetische Schicht, sie läßt aber dem Magnetisierungsvektor der ferromagnetischen Speicherschicht einen gewissen Freiheitsgrad, der für das Lesen der Information mit Hilfe von angelegten Strömen ausreicht; nach dem Abschalten der Ströme bringt der starre Magnetisierungszustand der antiferromagnetischen Schicht den Magnetisierungsvektor der ferromagnetischen Speicherschicht wieder in die »blockierte« Richtung zurück.

In diesem Zusammenhang ist noch zu erwähnen, daß die Verwendung von sehr dünnen nichtmagnetischen Zwischenschichten in Magnetschichtstrukturen von ruhenden Magnetschichtspeichern aus der FR-PS 1 383 012 an sich bekannt ist; diese bekannten nichtmagnetischen Zwischenschichten, die beispielsweise aus Silber, Indium, Chrom, Mangan, Palladium oder Platin bestehen, dienen dabei zur Erzielung einer begrenzten magnetischen Kopplung zwischen zwei anisotropen ferromagnetischen Schichten, ohne daß jedoch eine antiferromagnetische Schicht vorgesehen ist.

An Hand der Figuren wird die Erfindung beispiels-

weise näher erläutert. Es zeigt

Fig. 1 bei (a) eine Hystereseschleife in der normalen Vorzugsrichtung der Magnetisierung einer Schicht oder einer Anordnung aus dünnen magnetischen Schichten, bei (b) eine solche, nach links verschobene Hystereseschleife und bei (c) eine solche, nach rechts verschobene Hystereseschleife.

Fig. 2 und 3 zwei Ausführungsformen von Speicheranordnungen mit dünnen ferromagnetischen und antiferromagnetischen Schichten und einaxialer Anisotropie,

Fig. 4 eine Ausführungsform einer solchen Anordnung, welche durch eine zweite ferromagnetische Schicht vervollständigt ist, die an derjenigen der beispielsweise in Form des Ausführungsbeispiels gemäß Fig. 2 zugrunde gelegten Anordnung befestigt ist,

Fig. 5 die Verteilung der magnetischen Momente in einer ferromagnetischen Schicht mit einaxialer Anisotropie,

Fig. 6 die Verteilung der magnetischen Momente in einer antiferromagnetischen Schicht mit einaxialer Anisotropie,

Fig. 7 und 8 die Verteilungen der magnetischen Momente in zwei gekoppelten Schichten, welche aus einer ferromagnetischen und einer antiferromagnetischen Schicht mit einaxialer Anisotropie bestehen, wobei die dargestellte Orientierung in der ferromagnetischen Schicht für die Zeitpunkte gilt, in welchen in den Speicher geschrieben wird,

Fig. 9 eine Ausführungsform eines halbpermanenten Speichers mit Netzen von Leseleitungen, wobei der senkrechte Schnitt (a) bei (b) durch einen Teilschnitt eines vorübergehenden Zustandes der magnetischen Anordnung im Verlauf ihrer Herstellung vervollständigt ist,

Fig. 10 und 11 zwei mögliche Lesearten mit einem Speicher, welcher Netze von Leseleitungen aufweist,

Fig. 12 eine andere Ausführungsform eines halbpermanenten Speichers zum Lesen durch optisch-elektronische Abtastung,

Fig. 13 und 14 eine erste Ausführungsform einer Schreibordnung,

Fig. 15 eine zweite Ausführungsform einer Speicherschreibanordnung und

Fig. 16, 17 und 18 graphische Darstellungen, welche die Erläuterung der Wirkungsweise der Speicher erleichtern.

Zur klareren Darstellung sind die gegenseitigen Abmessungen der Bestandteile in der Zeichnung nicht berücksichtigt.

Fig. 1 dient zur Erläuterung des Zwecks der Erfindung, nämlich die Darstellung der Binärziffern 0 und 1 durch Hystereseschleifen zu gewährleisten, welche in der Vorzugsrichtung der Magnetisierung in einem Material gegeneinander versetzt sind. Jede Hystereseschleife ist so eingezeichnet, daß die Induktion B auf der Ordinate und das Magnetfeld H in der Vorzugsrichtung der Magnetisierung auf der Abszisse abgetragen ist. Wenn einmal die Speicheranordnung »beschrieben« ist, so ist einzusehen, daß die Binärziffern in derselben durch verschiedene magnetische Zustände dargestellt werden, welche einem der Paare von Hystereseschleifen (a) und (b) oder (b) und (c) oder (a) und (c) entsprechen, und zwar je nach dem der magnetischen Anordnung bei diesem Einschreiben der zwei Ziffern 0 und 1 erteilten Zustand.

Um dies durchzuführen, wird eine Kopplung zwischen einer ferromagnetischen Schicht 2 und einer

antiferromagnetischen Schicht 1 vorgesehen (Fig. 2, 3, 4 oder 12). In den Fig. 2, 3 und 12 stehen die Schichten 1 und 2 in direkter Berührung (wenn auch bezüglich des dielektrischen Trägers 3 in den Fig. 2 und 3 umgekehrt wie in Fig. 12). In Fig. 4 ist die Anordnung durch eine zweite ferromagnetische Schicht 5 vervollständigt, welche mit der Schicht 2 durch eine dünnere Schicht 6 aus einem nicht ferromagnetischen Metall verbunden ist. In Fig. 3 stehen die Schichten 1 und 2 in Wechselwirkung durch eine sehr dünne Zwischenschicht 4 aus einem nicht magnetischen leitenden Material. Die Stärke der Schicht 4 liegt beispielsweise in der Größe von einigen Zehn Angström.

Bekanntlich sind in einem ferromagnetischen Stoff, welcher in einer Richtung gesättigt ist, die den Atomen zugehörigen magnetischen Momente durch das Vorhandensein eines Molekularfeldes mit einer Stärke von mehreren Millionen Gauß alle parallel ausgerichtet. Zwischen zwei benachbarten Atomen besteht daher eine positive Austauschwechselwirkung. Ein solcher Zustand ist in Fig. 5 dargestellt.

Wie ebenfalls bekannt, ist in einem antiferromagnetischen Stoff die Austauschwechselwirkung bei einem gleichen Zustand negativ. Wenn man den Stoff in ebene Gitter unterteilt, in welchen Atome der gleichen Art angeordnet sind, so sind die magnetischen Momente in jeder Ebene gegenseitig parallel ausgerichtet, aber die Magnetisierungsrichtung wird periodisch von einem Gitter zum nächsten umgekehrt. Dieser Zustand ist in Fig. 6 dargestellt. Eine Eigenschaft dieser antiferromagnetischen Stoffe, welche in Hinblick auf die vorliegende Erfindung bemerkenswert ist, ist die Stabilität ihres magnetischen Zustands, welcher nur verändert werden kann, nachdem man die betreffende Probe dieses Stoffes auf eine Temperatur gebracht hat, welche mindestens gleich einem für seine Zusammensetzung charakteristischen Wert ist, Umordnungstemperatur oder Néel-Temperatur genannt wird und eine Eigenschaft dieser Stoffe im festen Zustand ist.

Wenn man daher beispielsweise eine zusammengesetzte Anordnung gemäß Fig. 2 betrachtet (das gleiche gilt auch für eine Anordnung gemäß Fig. 3), in welcher die ferromagnetische Schicht durch ihren Aufbau eine leichte Magnetisierungsachse an sich bekannter Lage aufweist, so bringt man zunächst diese Anordnung auf die gewöhnlich mit T_N bezeichnete Néel-Temperatur des antiferromagnetischen Materials 1 in Anwesenheit eines äußeren Magnetfelds, welches auf die zwei Schichten einwirkt und gemäß einer Richtung der genannten Vorzugsachse ausgerichtet ist. Wenn man die Anordnung in Anwesenheit dieses Magnetfelds sich abkühlen läßt, stellt sich in der Verteilung der magnetischen Momente des antiferromagnetischen Stoffes eine solche Ordnung ein, daß in der mit der ferromagnetischen Schicht in Berührung stehenden Gitterebene dieses Stoffes die magnetischen Momente sich in der Magnetisierungsrichtung des dem äußeren Feld ausgesetzten ferromagnetischen Materials ausrichten. Die Fig. 7 und 8 zeigen einen solchen Zustand für zwei entgegengesetzte Orientierungen des äußeren angelegten Magnetfelds. Der magnetische Zustand der antiferromagnetischen Schicht bleibt dabei bei jeder Temperatur unterhalb der Curie-Temperatur fest und infolge der starken Wechselwirkung zwischen den beiden Schichten hält das ferromagnetische Material in seiner gan-

zen Dicke den magnetischen Oberflächenzustand der antiferromagnetischen Schicht aufrecht. Mit anderer Worten, der stabile Zustand minimaler Energie der Magnetisierung in der ferromagnetischen Schicht ist an die Richtung der magnetischen Momente des Oberflächengitters der antiferromagnetischen Schicht gebunden, welche in Berührung mit dieser ferromagnetischen Schicht steht.

Diese Stabilität des Magnetisierungszustandes zeigt an, daß die Vorzugsachse der Magnetisierung des ferromagnetischen Materials einseitig nach der Richtung des äußeren, angelegten Magnetfelds während der geschilderten Behandlung ausgerichtet worden ist und daß infolgedessen die Hystereseschleife der ferromagnetischen Schicht entsprechend seitlich verschoben worden ist. Beispielsweise ist die Hystereseschleife im Sinn der graphischen Darstellung (b) in Fig. 1 bei der Anordnung gemäß Fig. 7 und im Sinn der graphischen Darstellung (c) in Fig. 1 für die Anordnung gemäß Fig. 8 verschoben. Dies alles tritt ein, wie wenn die dünne ferromagnetische Schicht 2 gemäß Fig. 2, 3, 4, 9 und 12, welche in Wechselwirkung mit der dünner antiferromagnetischen Schicht 1 gemäß den gleicher Figuren steht, einem fiktiven Kopplungsfeld, beispielsweise H_c , unterworfen worden wäre, welches gemäß einer der beiden Richtungen der Vorzugsachse der Magnetisierung ausgerichtet ist und dessen Stärke von den die Schichten 1 und 2 bildenden Stoffen und ihren Herstellungsbedingungen abhängt.

In Fig. 16 ist bei (a) die in Vorzugsrichtung der Magnetisierung gemessene Hystereseschleife einer einaxialen, normalen ferromagnetischen Schicht und bei (b) die Hystereseschleife dieser Schicht in senkrechter Richtung dargestellt. H_v ist das Magnetfeld in Vorzugsrichtung der Magnetisierung und H_\perp ist das Magnetfeld in der senkrechten Richtung, wobei auf der Ordinate die Komponente M der Magnetisierung der Schicht in Feldrichtung abgetragen ist.

In Fig. 17 sind bei (a) bzw. (b) die Hystereseschleifen in der Vorzugsrichtung der Magnetisierung und in der senkrechten Richtung einer schwach gekoppelten Schicht dargestellt, d.h. einer Schicht, deren Kopplungsfeld H_c kleiner als oder von gleicher Größenordnung wie das Anisotropiefeld H_k der ferromagnetischen Schicht ist. In der graphischen Darstellung (a) ist das Kopplungsfeld H_c eingezeichnet, welches durch die Verschiebung der Hystereseschleife in Richtung der leichtesten Magnetisierung gegeben ist. In der graphischen Darstellung (b) ist in einer aus gezogenen Linie die Hystereseschleife der schwach gekoppelten Schicht eingezeichnet.

In Fig. 18 sind bei (a) und (b) die Hystereseschleifen in den Richtungen der leichten Magnetisierung und der schwierigen Magnetisierung einer stark gekoppelten ferromagnetischen Schicht dargestellt, d.h. einer Schicht, deren Kopplungsfeld H_c weit über den Anisotropiefeld H_k liegt.

In diesen Figuren ist mit M_s der Sättigungswert der Magnetisierung bezeichnet. Die Hysteresekurve in der schwierigen Magnetisierungsrichtung der nicht gekoppelten Schicht, OAB in Fig. 16, Darstellung (b) zeigt den Punkt A, welcher den Wert des Anisotropiefeldes H_k definiert, und den Punkt B, welcher den Wertfeld H_v entspricht. Der Punkt B ist in den Darstellungen (b) der Fig. 17 und 18 zum Vergleich gestrichen angegeben. Die Punkte B' und B'' entsprechen bei den verschiedenen wirklichen Hysteresekurven dem Punkt B. Die Steigungen der Tangenten in

Nullpunkt oder die Anfangsuszeptibilitäten der gekoppelten ferromagnetischen Schicht werden durch das Verhältnis $M_5/(H_K + H_i)$ definiert, siehe die These des Staatsdoktorats, welches im Juli 1966 an der Universität Grenoble von einem der Erfinder, Jean-Claude Bruyère, abgelegt wurde.

Durch verschiedene Verfahren, welche weiter unten beschrieben werden, ist es möglich, eine Anzahl von Binärinformationen in eine zusammengesetzte Anordnung der beschriebenen Art »zu schreiben«, wobei jedes Informationselement an einem Ort angeordnet ist, welcher nachfolgend »Speicherpunkt« genannt wird. Vorzugsweise wird dieses Schreiben so durchgeführt, daß die Elemente der Information in Zeilen und Spalten angeordnet sind, wie es bei Speichern für binäre Informationen üblich ist, wobei jede Zeile einem »Wort« der Information entspricht.

Wenn man nun, wie beispielsweise in der Darstellung (a) der Fig. 9 gezeigt, welche für den Speicheraufbau die zusammengesetzte Anordnung gemäß Fig. 4 wiedergibt, an diesem Aufbau zwei Leitungsnetze, Zeilen 8 und Spalten 9, hinzufügt, deren Kreuzungspunkte an den Stellen der binären Informations-elemente angeordnet sind, so kann das Lesen der Informationen in einer der Weisen vorgenommen werden, welche in den Fig. 10 bzw. 11 angegeben sind.

Wie zunächst aus Fig. 10 ersichtlich, ist ein Speicherpunkt 12 gezeigt, welcher durch die Überkreuzung der zwei Leitungen 8 und 9 gebildet wird, wobei die leichte Magnetisierungsachse mit A bezeichnet ist. Die Leitung 8 wird als Wortleitung betrachtet, d.h. eine Leitung, über die die Binärziffern eines Informationswortes (im üblichen Sinn dieses Ausdrucks im numerischen Rechnen) geschrieben werden. Die Leitung 9 wird als Spaltenleitung betrachtet, d.h. eine zur ersten Leitung senkrechte Leitung, welche so viele Leitungen überdeckt, wie viele Wörter man im Speicher haben kann.

Um das Lesen eines Wortes durchzuführen, gibt man außerdem auf die gewählte Leitung 8 einen Strom I_M , welcher in der darunter liegenden magnetischen Anordnung ein Magnetfeld H_M erzeugt, dessen Orientierung senkrecht zu derjenigen der Leitung 8 und damit senkrecht zu derjenigen der leichten Magnetisierungsachse der ferromagnetischen Schicht dieser Anordnung ist und eine Stärke in der Größenordnung von derjenigen des Anisotropiefeldes H_K der ferromagnetischen »Lese«-Schicht, beispielsweise der Schicht 5 in Fig. 9, hat. Die Magnetisierung des im Schema der Fig. 8 gezeigten Speicherpunktes ist beispielsweise durch einen Pfeil mit der gleichen Orientierung wie die Richtung des Stroms I_M angezeigt. Sie entspricht beispielsweise dem Schreiben einer Binärziffer 1 und hat die umgekehrte Richtung wie beim Schreiben einer Binärziffer 0. Unter der Wirkung dieses »Wort«-Feldes H_M dreht sich die Magnetisierung der unter dem Speicherpunkt liegenden und diese Stelle umgebenden ferromagnetischen Schicht um einen Winkel, welcher weiter unten definiert wird, wie durch die Pfeile in ausgezogenen Linien angegeben, und zwar in einer Richtung, welche offensichtlich von den relativen Orientierungen der ursprünglichen Magnetisierung bei 12 und des Stroms I_M abhängt. Ein elektrischer Strom, dessen Polarität von dieser Drehrichtung abhängt, wird daher in der Leitung 9 induziert, von welcher er als Lesesignal des Inhalts des Speicherpunktes 12 entnommen wird. Ein

Strom mit genau der gleichen Amplitude, jedoch entgegengesetzter Polarität, wird über jeder Leitung 9 der Wortleitung 8 entnommen, welche eine entgegengesetzte erste Magnetisierungsrichtung in der darunter liegenden ferromagnetischen Schicht hat. Wenn der Strom I_M aufhört, wird die Magnetisierung des Speicherpunktes in der ferromagnetischen Schicht mit ihrer ersten Orientierung wiederhergestellt, da natürlich der Vorgang bei einer Temperatur unterhalb der Néel-Temperatur der dieser ferromagnetischen Schicht an dieser Stelle zugeordneten antiferromagnetischen Schicht stattfindet. Die antiferromagnetische Schicht hat daher die Orientierung der magnetischen Momente in ihrem mit der ferromagnetischen Schicht in Berührung stehenden Gitter unbeeinflusst beibehalten, wodurch die Magnetisierung des Speicherpunktes vollständig in diese Orientierung zurückfällt.

Der jeder Leitung 9 entnommene Strom hängt vom Drehwinkel der Magnetisierung der unter dem Speicherpunkt liegenden ferromagnetischen Schicht unter der Einwirkung des »Wort«-Feldes H_M ab, dessen Stärke etwas größer als oder gleich H_K ist. Bei einer nicht gekoppelten ferromagnetischen Schicht ist der Drehwinkel gleich 90° und der der Leitung 9 entnommene Strom, das Lesesignal, ist bekanntlich maximal. In diesem Fall ist die während des Lesens von der Magnetisierung beschriebene Kurve bei (b) in Fig. 16 durch die Kurve OAB dargestellt.

Für eine schwach gekoppelte ferromagnetische Schicht ist die unter den gleichen Bedingungen von der Magnetisierung beschriebene Kurve bei (b) in Fig. 17 durch die Kurve OB' dargestellt. In diesem Fall dreht sich die Magnetisierung der schwach gekoppelten ferromagnetischen Schicht um einen etwas unterhalb 90° liegenden Winkel und der von einer Leitung 9 aufgenommene Strom ist etwas kleiner als der Maximalstrom, welcher der gleichen, nicht gekoppelten Schicht entspricht. Dieser Fall entspricht der Anordnung der Fig. 9, wobei die ferromagnetische Lese-schicht 5 mittels einer Metallschicht 6 an der ferromagnetischen Schicht 2 schwach gekoppelt ist, wie in der eingangs genannten französischen Patentschrift erläutert. Die Schicht 2 ist im Gegensatz dazu an der antiferromagnetischen Schicht stark gekoppelt.

Für eine stark gekoppelte ferromagnetische Schicht, wie es bei der Anordnung gemäß Fig. 2 der Fall ist, ist die unter den gleichen Bedingungen wie oben von der Magnetisierung beschriebene Kurve durch die Kurve OB'' in Fig. 18, Darstellung (b) wiedergegeben. In diesem Fall ist der Drehwinkel der Magnetisierung der ferromagnetischen Schicht und daher das von einer Leseleitung aufgenommene Signal schwach und kann durch eine Vergrößerung der Stärke des Kopplungsfeldes H_i so schwach gemacht werden, wie es erwünscht ist. Es wird weiter unten ausgeführt, wie man diese letzteren Bedingungen ausnützt.

Es wird bemerkt, daß es bei gegebener Gesamtdicke der magnetischen Anordnung, welche sehr gering ist, ohne Bedeutung ist, ob sich die antiferromagnetische Schicht bezüglich der Leitungen oberhalb oder unterhalb der Anordnung befindet.

Bei einer anderen Ausführungsform kann man die Orientierungen der Wortleitungen und der Leseleitungen bezüglich der Anisotropieachse der ferromagnetischen Schicht der Speicheranordnung umkehren. In Fig. 11 ist eine Wortleitung 8 senkrecht zu diese

Achse A und zwei Leseleitungen 9^1 und 9^2 parallel zu dieser Achse dargestellt, welche zusammen mit der Leitung 8 zwei Speicherpunkte 12^1 und 12^2 bilden. Um ein Informationswort zu lesen, wendet man ein Polarisationsfeld H_R senkrecht zur Anisotropieachse an und läßt, wie vorher, in der Leitung 8 einen Strom fließen, welcher sodann ein induziertes Feld H_M hervorruft, das parallel zur leichten Magnetisierungsachse der darunter liegenden ferromagnetischen Schicht orientiert ist. Sodann dreht sich die Magnetisierung der Speicherpunkte der ferromagnetischen Schicht um fast 180° in der einen oder anderen Richtung je nach der ursprünglichen Orientierung bezüglich der leichten Magnetisierungsachse A . Man erhält daher an den Ausgängen der Leitungen 9^1 und 9^2 Lesesignale des Inhalts der Speicherpunkte 12^1 und 12^2 , deren Polaritäten beispielsweise den Werten der Binärziffern 0 und 1 entsprechen, welche vorher in diese Speicherstelle »geschrieben« wurden. Wenn das Lesen beendet ist, fallen die Magnetisierungen bei 12^1 und 12^2 in ihre ursprünglichen Orientierungen zurück, deren Speicherung in der bereits beschriebenen Art durch die antiferromagnetische Schicht der Anordnung erhalten geblieben ist, jedoch vorausgesetzt, daß das Kopplungsfeld H eine größere Stärke besitzt als die Koerzitivkraft der ferromagnetischen Schicht.

Bei einer anderen Ausführungsform ist es entsprechend dem für das Lesen von Speichern in Form von Magnetschichten jeder Art bekannten Prinzip nicht nötig, der magnetischen Anordnung zum Zweck des Lesens Netze von Leitungen zuzuordnen, sondern es ist möglich, mit einer Leseanordnung auf optischem Wege zu arbeiten, wie sie schematisch in Fig. 12 dargestellt ist. Ein Lesekopf weist beispielsweise eine Belichtungslampe oder eine andere Lichtquelle 13 und eine Photozelle oder einen Photoleiter 14 auf. Das Licht der Lichtquelle, welches beispielsweise bei 33 polarisiert wird, wird auf die Oberfläche der magnetischen Anordnung geworfen und fokussiert, wobei die Außenfläche der ferromagnetischen Schicht 2 belichtet wird. Das reflektierte Licht wird durch einen Analysator 34 auf die Photozelle zurückgeworfen. Der Lesekopf wird von einem nicht näher beschriebenen Träger 15 mitgeführt, so daß er die Oberfläche der magnetischen Anordnung abtastet. Diese Abtastung kann in jeder gewünschten, bekannten mechanischen Weise durchgeführt werden und man kann, wie ebenfalls bekannt, diesen einheitlichen Kopf durch eine mosaikartige Anordnung von Photozellen oder Photowiderständen und entweder eine Quelle polarisierten Lichts, welche die magnetische Anordnung abtastet und deren reflektiertes Bündel durch einen Analysator auf eine Lese-»Zeile« der mosaikartigen Anordnung fällt, oder eine Quelle polarisierten Lichts ersetzen, welche die gesamte Oberfläche der magnetischen Anordnung überdeckt und deren reflektiertes und »analysiertes« Licht auf die gesamte Oberfläche der mosaikartigen Anordnung fällt, in welcher sodann eine elektrische Abtastung der Elemente stattfindet, wenn nicht so viele einzelne Ausgänge wie Elemente vorhanden sind. Solche Anordnungen sind in Prinzip und Ausführung zur Abtastung von »bedruckten« Oberflächen beim optisch-elektronischen Lesen bekannt.

Die Erläuterung der Lesemethoden wurde unter der Annahme gegeben, daß das Schreiben so stattgefunden hat, daß die Speicherpunkte Hystereseschleifen gemäß (b) und (c) in Fig. 1 aufweisen, insbeson-

dere für den Fall, daß man Netze von Leseleitungen verwendet, wobei die Ziffernsignale 0 und 1 durch ihre Polaritäten unterschieden werden. Bei einem Schreiben gemäß (a) und (b) oder (a) und (c) gibt die Unterscheidung ohne weiteres jedes Signal für die Zahlen, welche an den Stellen dargestellt sind, deren Magnetisierung dem Zyklus (a) folgt, und ein Signal für die Ziffern, welche an den Stellen dargestellt sind, deren Magnetisierung dem Zyklus (b) bzw. dem Zyklus (c) folgt, je nach der Wahl des Schreibens. Dies ist nur möglich, wenn die Verschiebung der Zyklen gemäß (b) oder (c) groß ist und daher einer starken Kopplung entspricht, wie oben definiert. Beim Lesen gemäß dem in Fig. 10 beschriebenen Verfahren sind die Zyklen oder Kurven in Richtung senkrecht zur leichten Magnetisierungsrichtung so wie bei der Darstellung (b) der Fig. 16 für die nicht gekoppelten Speicherstellen und wie in der Darstellung (b) der Fig. 18 für die Speicherstellen mit starker Kopplung, wobei die Kopplung in der einen oder anderen Richtung der leichten Magnetisierungsrichtung ausgeübt wird.

Das Schreiben in eine Speicheranordnung gemäß der Erfindung beruht offensichtlich auf gesteuerten Erwärmungen in Anwesenheit eines orientierenden Magnetfelds. Die Fig. 13 und 14 einerseits und Fig. 15 andererseits zeigen zwei Ausführungsformen, welche im übrigen keine Einschränkung darstellen sollen.

Im Fall der Fig. 13 und 14 arbeitet man mit einer perforierten Maske 17, welche ein Gitter mit vorbestimmter Kodierung darstellt. Die in vereinfachter Form bei 19 dargestellten Perforationen entsprechen beispielsweise den Speicherstellen, in welchen die Ziffern 1 eingeschrieben werden müssen. Die magnetische Anordnung einschließlich ihres dielektrischen Trägers ist mit 18 bezeichnet. Mit 20 ist eine Wärmequelle, wie ein Rubinlaser, bezeichnet, welcher mit einer Membran 21 versehen ist und dessen Bündel durch die Optik 22 in eine parallele Lichtfläche umgewandelt wird, welche die Maske 17 überdeckt, wenn diese dicht an der Anordnung 18 liegt. Vorzugsweise besitzt diese Maske die gleiche Oberfläche wie 18, um eine zusätzliche Projektion zwischen der Maske und der zu beeinflussenden Oberfläche zu vermeiden.

Zunächst wird die Anordnung 18 betrachtet, welche mit ihren ferromagnetischen und antiferromagnetischen, nicht magnetisch angeordneten Schichten ausgebildet ist, obwohl diese übereinander angeordnet sind (oder mit ihrer Zwischenschicht, wenn die Anordnung gemäß Fig. 3 verwendet wird). Sodann wird der Rubinlaser eine erforderliche Zeit aktiviert, so daß durch die Maske 17 die gewählten Stellen mittels der Perforationen 19 auf die Néel-Temperatur des antiferromagnetischen Materials der aus dünner Schichten bestehenden Anordnung gebracht werden während auf die ganze Anordnung ein magnetisches Orientierungsfeld mit vorbestimmter Richtung einwirkt, und zwar vorzugsweise mit einer der zwei Richtungen der Anisotropieachse der ferromagnetischen Schicht oder Schichten der Anordnung parallel zu einer Seite dieser Anordnung. Die Maske kann beispielsweise aus Nickel bestehen. Man läßt die Quelle nur die zur lokalen Erwärmung der durch die Maske hindurch erreichten Stellen der Anordnung erforderliche Zeit belichten, um die Néel-Temperatur des antiferromagnetischen Materials zu erreichen und zu überschreiten, sodann läßt man die Anordnung ab

kühlen, während das magnetische Orientierungsfeld aufrechterhalten wird. Dieser Vorgang führt zum gemeinsamen Beschreiben aller entsprechenden Informationselemente mit einem der Binärziffernwerte, durch Übereinkunft beispielsweise 1, welche durch die Richtung des magnetischen Orientierungsfeldes definiert wird.

Dieser einzige Schreibvorgang kann in den Fällen als ausreichend betrachtet werden, daß Anordnungen mit starker Kopplung der ferromagnetischen und antiferromagnetischen Schichten verwendet werden, wie sie beispielsweise in Fig. 2 dargestellt sind, denn nach Anbringen der Netze von Leitungen und beispielsweise gemäß einem der in Verbindung mit den Fig. 10 und 11 geschilderten Verfahren ergibt das Lesen des Speichers kein Signal für jede so geschriebene Ziffer und ergibt ein Signal mit einer bestimmten Polarität für die andere Ziffer.

Bei Anordnungen mit schwacher Kopplung, wie sie beispielsweise in Fig. 9 dargestellt sind, kann man zur Erzielung des Lesens von Signalen mit entgegengesetzten Polaritäten zur Bezeichnung der beiden Werte der Binärziffern 0 und 1 die gezeigte Maske 17 durch eine »komplementäre« oder »negative« Maske ersetzen, welche Perforationen an den Stellen aufweist, welche die Informationselemente mit dem anderen Wert der Binärziffer, beim betrachteten Beispiel 0, besitzen müssen. Durch Anwendung eines magnetischen Orientierungsfeldes mit entgegengesetzter Richtung wie das erstgenannte und zeitweise Belichtung in der obengenannten Art sowie anschließende Abkühlung bei Einwirkung des Magnetfeldes erreicht man daher, daß in den Speicher alle Informationselemente geschrieben werden, welche der Ziffer 0 entsprechen, ohne jedoch das vorhergehende Schreiben der Ziffern 1 zu stören, da bei diesem zweiten Vorgang deren Stellen nicht die Néel-Temperatur des antiferromagnetischen Materials erreichen.

Eine andere Art des Schreibens der Binärelemente zur Erzielung von zwei Signalen mit entgegengesetzten Polaritäten zur Darstellung der Ziffern 1 und 0 besteht darin, daß man nur eine Maske verwendet, nachdem man jedoch in einem ersten Arbeitsgang die vollständige Anordnung von der Néel-Temperatur des antiferromagnetischen Materials in Anwesenheit eines ersten magnetischen Orientierungsfeldes abgekühlt hat. Dieser erste Arbeitsgang läßt sodann die Speicheranordnung vollständig mit einer Ziffer, beispielsweise 0, entsprechenden Binärelementen »beschreiben« zurück. Der zweite Arbeitsgang ist derjenige mit Maske, wie oben beschrieben, zum Registrieren der der anderen Binärziffer 1 entsprechenden Elemente anstatt der vorher registrierten Ziffern 0 an allen Perforationsstellen der Maske 17.

Es wird bemerkt, daß die Herstellung der Maske kein besonderes Problem aufwirft, welches in der Technik nicht bekannt wäre, und zwar auch für eine sehr große Informationsdichte, beispielsweise für eine Oberfläche der Speicherpunkte mit einer Seitenlänge in der Größenordnung von 10 Mikron. Man kann beispielsweise ein bekanntes Verfahren zum Drucken von Schaltungen anwenden. Man stellt das Muster der Maske in großem Maßstab her, überträgt dasselbe mit photographischer Verkleinerung auf eine transparente Folie, nimmt andererseits eine Folie aus Nickel oder ähnlichem Stoff mit der erforderlichen Abmessung, bedeckt dieselbe mit einer lichtempfindlichen, säurebeständigen Schicht, belichtet diese Schicht

durch die transparente Folie und graviert sodann durch den Angriff einer geeigneten Säure, wobei diese nur an den nicht durch die belichteten Teile der Schicht geschützten Stellen angreift.

Beispielsweise ist bei einer magnetischen Anordnung mit einem Träger 3 aus einem wärmebeständigen Glas, einer ferromagnetischen Schicht aus einer Legierung aus Nickel und Eisen mit relativen Anteilen von 80% bzw. 20% dieser Metalle, mit einer Dicke in der Größenordnung von beispielsweise 2000 Å sowie einer antiferromagnetischen Schicht aus einer dreifachen Legierung aus Eisen-Nickel-Mangan mit einer Dicke in der Größenordnung von beispielsweise 500 bis 600 Å (ein Verfahren zur Herstellung dieser Legierung wird weiter unten angegeben), wobei die Anordnung eine Seitenlänge von 10 cm besitzt, die für einen Schreibimpuls erforderliche Energie mit einer Dauer in der Größenordnung von Millisekunden, welcher vom Rubinlaser erzeugt wird, nur in der Größenordnung von 8 Joule gelegen. Die Ebene der Maske 17 kann von der Oberfläche der magnetischen Anordnung einen Abstand in der Größenordnung von 10 mm aufweisen.

Zum Schreiben in den Speicher kann man bei einer anderen Ausführungsform ein Folgeschreibsystem der Binärelemente, beispielsweise mit der schematisch in Fig. 15 dargestellten Anordnung anwenden. Diese Anordnung weist zwei auf Gleitschienen 25 und 26 gelagerte Platten 21 und 22 auf, welche bei ihren Verschiebungen längs der Richtungen X und Y einzeln durch Schrittmotoren 23 und 24 gesteuert werden. Die magnetische Speicheranordnung 18 kann an einer genau gekennzeichneten Stelle auf der oberen Platte 21 aufgebracht sein. Ein Schreibkopf weist eine Quelle 20, wie beispielsweise einen Gaslaser, bei 27 eine Blende sowie eine Optik 28 zur Bündelung und Fokussierung der Strahlung auf, so daß bei Aktivierung ein Wärmeleck erzeugt wird, dessen Durchmesser von der gleichen Größenordnung ist wie der für einen Speicherpunkt auf der Oberfläche der magnetischen Anordnung 18 gewünschte Durchmesser.

Ein Magnetband oder Lochstreifen 32 trägt (beispielsweise) das Schreib-»Programm« der Binärziffern 1 in einem Speicher. Mit anderen Worten, dieses Band, welches in an sich bekannter Weise durch einen Abtastkopf 31 läuft, ist so vorbereitet, daß es nacheinander die Größen X und Y jeder Speicherpunktstelle angibt, welche den Wert 1 darstellen soll. Nach dem Abtasten jedes Größenpaares bei 31 und dessen vorübergehender Speicherung bei 30 steuert eine auf diese Größen ansprechende Steuerschaltung 29 die Stellung der Schrittmotoren 23 und 24 (allgemeiner der gesteuerten Motoren 23 und 24, wobei die »Schritte« tatsächlich nur durch die Steuerung definiert sein können, welche in bekannter Weise auf der Dekodierung numerischer Codes in X und in Y beruhen, die von dem Band 32 abgetastet werden). Jede Einstellung ruft, beispielsweise durch eine besondere vom Speicher 30 ausgehende Verbindung und durch damit verbundene Schaltungen für die aufeinanderfolgenden Abtastungen des Bandes, eine Impulszündung des Lasers 20 und daher die lokalisierte Erwärmung eines Punktes der magnetischen Anordnung mit den Koordinaten X und Y, die bei jedem Schritt des Bandes 32 definiert werden, über die Néel-Temperatur der antiferromagnetischen Schicht hervor. Da ein magnetisches Orientierungsfeld dauernd während des Schreibvorgangs parallel zu einer der Seiten der An-

ordnung 18 angewendet wird, entspricht jede Abtastung oder Ableseung des Bandes genau dem Schreiben eines Binärelement mit dem Wert 1 in einen Speicherpunkt. Die Motoren steuern die Bewegungen der beiden Platten über geeignete Mikrometerschrauben. Es sind bereits numerische Steuerungen bekannt, welche aus sich selbst die gewünschte Genauigkeit für das Schreiben in eine Speicheranordnung besitzen. Es muß daher der genaue Aufbau dieser Steuereinrichtungen nicht beschrieben werden.

Bei einer magnetischen Anordnung mit den oben beschriebenen Eigenschaften genügt es, daß der Gaslaser bei jedem Impuls eine Spitzenleistung in der Größenordnung von 0,2 Watt bei einer Impulsdauer in der Größenordnung von Millisekunden und einer emittierten Wellenlänge von 0,6 bis 1 Mikron abgibt. Diese Größen sollen als Beispiel dienen.

Wie im Fall eines gemeinsamen oder globalen Einschreibens kann das Schreiben mit einem solchen numerischen Steuersystem in zwei Verfahrensschritten verwirklicht werden, wenn man von einer Anordnung ausgeht, in welcher die ferromagnetische und antiferromagnetische Schicht vor dem Schreiben nicht geordnet sind und wenn man beim Lesen Signale mit entgegengesetzten Polaritäten zur Darstellung der Werte 1 und 0 zu erhalten wünscht. Es ist nur ein Verfahrensschritt nötig, wenn diese letztere Bedingung nicht gefordert wird oder wenn die Anordnung vorher ganz mit einem der Binärzahlwerte »beschrieben« worden ist.

Aus dem Vorangehenden ist zu entnehmen, daß der Inhalt eines solchen Speichers je nach Wunsch geändert werden kann, da ein »Löschen« darin besteht, daß die magnetische Anordnung über die Néel-Temperatur des antiferromagnetischen Materials gebracht wird, und da dieses Löschen gleichzeitig mit einem Schreiben durchgeführt werden kann, wenn man es in Anwesenheit eines magnetischen Orientierungsfeldes bewirkt, entweder um die ganze Anordnung in einen einzigen Zustand zu bringen, wenn nicht eine Auswahl der gelöschten Stellen stattfindet, oder um gleichzeitig ein neues Schreiben durchzuführen, wenn gleichzeitig mit der Löschung eine Auswahl stattfindet. Im Fall eines Speichers, welcher mit Netzen von Leseleitungen ausgestattet ist, muß man jedoch vor dem Löschen und Wiedereinschreiben die Leitungen abnehmen.

Wenn der Speicher die Netze von Leitungen aufweisen soll, werden diese daher nach dem Schreiben des Informationsinhalts des Speichers in die magnetische Anordnung angebracht. Die Ausbildung und Anbringung der Leitungsnetze kann mit an sich bekannten Mitteln und beispielsweise nach einem Herstellungsverfahren für gedruckte Leiter durchgeführt werden. Die rechtwinkligen Netze werden beispielsweise durch Metallisierung der zwei Flächen einer dünnen isolierenden Folie hergestellt, deren Metallisierungen sodann graviert werden. Danach wird die die Netze tragende Folie auf die Oberfläche der »beschriebenen« magnetischen Anordnung geklebt, wobei diese Oberfläche und die Folie Markierungen für ihre richtige Anordnung tragen. Es können leicht Toleranzen von weniger als 10 Mikron sowohl bei der Anordnung der Leitungen in diesen Netzen als auch bei der Anordnung der Speicherpunkte in der Anordnung eingehalten werden. Für die Anbringung der die Netze tragenden Folie auf der Speicherebene kann beispielsweise für eine Oberfläche von $10 \times 10 \text{ cm}^2$

eine Toleranz der gegenseitigen Anordnung von weniger als 3 bis 4 Mikron eingehalten werden. Da man schon Flächen von Speicherpunkten in der Größenordnung von 100 Mikron für ausreichend halten kann, eine gute Informationsdichte im Speicher zu gewährleisten, sind die oben angegebenen Toleranzen daher zufriedenstellend. Sie können beim gegenwärtigen Stand der Technik noch weiter getrieben werden, wenn man größere Informationsdichten wünscht.

Was die ferromagnetischen Stoffe betrifft, würde eine Aufzählung zu weit führen, da sie an sich gut bekannt sind. Lediglich zur Erläuterung können hier das Kobalt, die Eisen-Nickel-Legierung und Zusammensetzungen dieser Materialien genannt werden. Das gleiche gilt für die antiferromagnetischen Stoffe, man kann das Kobaltoxyd, das Chromoxyd und die ternäre Legierung Eisen-Nickel-Mangan unter anderen nennen. Man kann auch Paare zusammenstellen und verwirklichen, wie Kobalt/Kobaltoxyd, Eisen-Nickel/Chromoxyd und Eisen-Nickel/Eisen-Nickel-Mangan. Dieses letztere Paar wird infolge der Verwandtschaft seiner Grundbestandteile zur beispielsweise Beschreibung bestimmter Ausführungsbeispiele der Speicheranordnungen herangezogen. Allgemein können die magnetischen Schichten dieser Anordnungen beispielsweise durch Aufdampfen ihrer Bestandteile niedergeschlagen werden, indem diese Aufdampfungen so gesteuert werden, daß die gewünschten gegenseitigen Verhältnisse dieser Bestandteile gewährleistet sind.

Wenn man beispielsweise die Anordnung gemäß Fig. 9, Darstellung (a) betrachtet, so wird eine erste dünne Schicht 5 aus Eisen-Nickel mit einem Verhältnis von etwa 80%/20% auf den Träger 3 aufgedampft, welcher aus einer schlecht wärmeleitenden und einen hohen Schmelzpunkt aufweisenden Glasplatte besteht. Diese Schicht hat beispielsweise eine Stärke in der Größenordnung von 1250 Å. Sie wird in Anwesenheit eines Magnetfelds niedergeschlagen, welches die Orientierung ihrer Anisotropieachse festlegt und während aller folgenden Verfahrensschritte beibehalten wird. Sodann bringt man stets durch Aufdampfen auf die Oberfläche der Schicht 5 eine dünne Schicht aus einem nicht magnetischen Metall, beispielsweise Gold, mit einer einer gewünschten Kopplung entsprechenden Stärke, beispielsweise in der Größenordnung von 45 Å auf. Die Kopplung wird durch eine zweite, sodann auf die Goldschicht aufgebrachte Eisen-Nickel-Schicht gewährleistet, welche beispielsweise bis zu einer Stärke in der Größenordnung von 300 Å geht. Diese Niederschlagung wird beispielsweise bei einer Temperatur von 300° C durchgeführt. Sodann führt man bei der gleichen Temperatur, Darstellung (b) in Fig. 9, die Niederschlagung einer Manganschicht 7 mit einer Stärke in der Größenordnung von 150 bis 200 Å durch. Man erhitzt sodann die Anordnung bei ungefähr 300° C während einer Zeit in der Größenordnung von einer Stunde. Das Mangan diffundiert dabei auf thermischem Wege in den oberen Teil der Schicht 2, wodurch man die an die ferromagnetische Schicht 2 gekoppelte antiferromagnetische Schicht 1 erhält. Natürlich können die obigen Schritte umgekehrt werden, so daß zuerst das Mangan auf die Glasplatte aufgebracht, darüber die Eisen-Nickel-Schicht niedergeschlagen, die thermische Diffusion des Mangans in das Eisen-Nickel bewirkt wird usw. Dieses letztere Vorgehen bringt den Vorteil, daß die Manganschicht während der Erhitzung direkt durch die

Eisen-Nickel-Schicht geschützt wird, während bei der zur Darstellung (a) der Fig. 9 führenden Herstellungsart besondere Vorsichtsmaßnahmen in der Auswahl der Atmosphäre während des Erhitzens getroffen werden müssen, da das Mangan in gewöhnlicher Atmosphäre instabil ist.

Es ist klar, daß bei einem solchen Herstellungsverfahren einer antiferromagnetischen Schicht sich die Konzentration des Mangans in der Schicht mit der Dicke ändert. Es ist daher zu bedenken, daß die Néel-Temperatur, von welcher die Rede war, tatsächlich nicht als präziser Wert definiert ist, sondern in einem Bereich von Werten besteht, beispielsweise zwischen einer minimalen Temperatur T_N , die die maximale Temperatur ist, die die Anordnung im Verlauf ihrer Speicherauswertung durch ein nicht zerstörendes Lesen nicht erreichen kann, und einer maximalen Temperatur T_N , welche jedoch ausreichend tief sein muß, um das Schreiben mittels der oben beschriebenen Verfahren zu ermöglichen. Ein solcher Bereich kann beispielsweise für die Durchführung der vorliegenden Erfindung zwischen 100°C und 200°C gelegen sein, wobei diese Werte direkt durch die Herstellung- und Erhitzungstemperaturen, die Erhitzungsdauer und die oben erwähnten relativen Dicken erhalten werden. Für diese Werte erhält man dabei ein Kopplungsfeld in der Größenordnung von 60 Oerstedt bei einer Kopplungsenergie zwischen den Schichten 2 und 1 in der Größenordnung von $0,15\text{ erg/cm}^2$.

Wenn sich die Stärke des Kopplungsfeldes mit der Diffusionszeit vergrößert, was offensichtlich durch wiederholte Erhitzungen erreicht werden kann, so ist zu bemerken, daß die Néel-Temperatur praktisch unverändert bleibt und nicht von der betreffenden Diffusionszeit abhängt. Diese Zusammenhänge sind erläutert in einem Artikel O. Masseret, R. Montmory, L. Néel, veröffentlicht unter dem Titel »Magnetic properties of multilayer films of Fe-Ni-Mn, Fe-Ni-Co and of Fe-Ni-Cr« in den »Proceedings of Intermagn Conference«, 1964, n12-2, siehe insbesondere Fig. 2 dieses Artikels und den dazugehörigen Text.

Man kann weiter eine antiferromagnetische Schicht vom ternären Typ, beispielsweise aus Fe-Ni-Mn, durch gleichzeitige Aufdampfung der drei Bestandteile in den erforderlichen Verhältnissen herstellen, die den oben erwähnten Dicken und Zusammensetzungen entsprechen. Man erhält dabei eine Schicht mit (wenigstens relativ) homogener Verteilung des Mangans in der festen ternären Lösung, aber man stellt fest, daß die an der magnetischen Anordnung während des Vorgangs aufrechterhaltene Temperatur zuletzt die Néel-Temperatur des erhaltenen Materials bestimmt, da bei konstanter Temperatur eine Veränderung der gegenseitigen Konzentrationen von Eisen, Nickel und Mangan um einen Faktor 4 die Stärke des Kopplungsfeldes und die Verteilung der Néel-Temperatur innerhalb merklicher Grenzen wenigstens in Hinsicht auf die erfindungsgemäße Ausnutzung der magnetischen Anordnungen nicht beeinflusst.

Eine solche Tatsache kann man dadurch erklären, daß nur das Profil der gegenseitigen Diffusion zwischen Eisen-Nickel und Mangan wichtig ist und daß die Kopplung zwischen der Eisen-Nickel- und der Eisen-Nickel-Mangan-Schicht eine Austauscherscheinung zwischen benachbarten Spins ist und sich daher im Maßstab atomarer Abstände abspielt. Der

verwertbare Berührungsbereich zwischen den beiden Schichten ist tatsächlich auf einige Atomabstände beschränkt, während die gegenseitige Diffusion der Atome von Mangan und Eisen-Nickel bei den betreffenden Temperaturen sich über wesentlich größere Abstände abspielt.

Bei einer Anordnung gemäß Fig. 9 oder Fig. 4 verhindert man mit den gekoppelten Schichten 1 und 2 eine ferromagnetische Schicht 5, welche an der Schicht 2 durch eine dünne Zwischenschicht 6 gekoppelt ist, deren Dicke die Größe der Kopplung bestimmt. Da die Schicht 2 an der Schicht 1 stark gekoppelt ist, ist es tatsächlich die Schicht 5, welche eigentlich als Leseschicht dient, d.h. die Magnetisierung der Speicherpunkte der Schicht 5 ändert die Orientierung beim Lesen in der beschriebenen Weise und nicht die Magnetisierung der Schicht 2.

Bei dem nun zu beschreibenden Ausführungsbeispiel, demjenigen der Fig. 9, hat das verwertbare Lesesignal eine Amplitude oberhalb ein Millivolt bei Feldimpulsen H_M mit einer Anstiegsflanke in der Größenordnung von 10 Nanosekunden.

Wenn man eine solche »Lese«-Schicht wegläßt, so müssen besondere Vorkehrungen getroffen werden, um die direkte Verwendung der ferromagnetischen Schicht als Leseschicht zu ermöglichen, da das Kopplungsfeld H_c zwischen der ferromagnetischen und der antiferromagnetischen Schicht ohne weiteres für einen solchen Betrieb einen zu hohen Wert besitzt. Wie erwähnt, kann eine Verringerung der Kopplung, wie in Fig. 3 angedeutet, durch Zwischenlegen einer dünnen, nicht magnetischen Schicht 4 zwischen den Schichten 1 und 2 erreicht werden. Die praktische Verwendung einer solchen Anordnung in einem Impulsspeicher (diese Auseinandersetzungen betreffen wohl gemerkt nicht das Lesen auf optischem Weg) birgt jedoch die Gefahr einer Speicherinstabilität und eines langsamen Ansprechens.

Die Erfahrung hat jedoch gezeigt, daß beim Abkühlen einer gekoppelten Anordnung von ferromagnetischen und antiferromagnetischen Schichten in Anwesenheit eines magnetischen Wechselfeldes, nachdem die Anordnung auf die Néel-Temperatur gebracht worden war, wobei dieses Feld vorzugsweise, jedoch nicht notwendigerweise längs der leichtesten Magnetisierungsachse orientiert ist, die Kopplung zwischen den beiden Schichten in Richtung der leichtesten Magnetisierungsachse verschwindet. Im Gegensatz dazu genügt es, von neuem die Anordnung auf die Néel-Temperatur der antiferromagnetischen Schicht zu erhitzen und unter der Einwirkung eines kontinuierlichen Orientierungsfeldes abzukühlen, um die Kopplung wiederherzustellen.

Zur Herstellung einer Anordnung gemäß Fig. 1 oder Fig. 12, welche ausgezeichnet für ein Lesen mit elektrischen Impulsen geeignet ist, wenn die Anordnung mit Netzen von Leseleitungen verbunden ist wird das folgende Herstellungsverfahren für die Speicheranordnung vorgeschlagen:

Nach der Herstellung der Anordnung aus zwei Schichten in einer der oben beschriebenen Weisen und vor dem Schreiben eines Inhalts von Binärinformationen wird die Anordnung auf die Néel-Temperatur oder darüber hinaus erhitzt und in Anwesenheit eines magnetischen Wechselfeldes abgekühlt, welches längs der Richtung der Anisotropieachse der ferromagnetischen Schicht orientiert ist, wobei die Amplitude dieses Feldes beispielsweise in der Größenordnung von

20 Oerstedt liegt. Die beiden Schichten werden daher in der geschilderten Weise entkoppelt. Sodann wird eine Gesamtheit von Binärziffern mit einem einzigen Wert, beispielsweise 0, in die Anordnung durch lokalisierte Erwärmung der entsprechenden Speicherpunkte unter Einwirkung eines kontinuierlichen und orientierten äußeren Magnetfelds eingeschrieben, welches zur vollständigen Sättigung der ferromagnetischen Schicht in einer einaxialen Richtung ausreicht, wonach unter die Néel-Temperatur unter Einwirkung dieses Feldes abgekühlt wird, wodurch wieder eine Kopplung zwischen den Stellen der »beschriebenen« Speicherpunkte hergestellt wird, so daß die Blockierung der Magnetisierung in der ferromagnetischen Schicht an diesen Stellen gewährleistet wird. Die Speicheranordnung stellt schließlich eine Anordnung mit einaxialer Anisotropie und gesättigter ferromagnetischer Schicht dar, welche jedoch lediglich an allen Stellen eines der Binärziffernwerte, in diesem Fall 0, blockiert und im Gegensatz dazu frei zum vorübergehenden Ummagnetisieren an den Stellen des anderen Binärziffernwertes, in diesem Falle 1, ist. Ein Lesen des Werts 0 ergibt ein Signal Null, ein Lesen des Werts 1 ergibt ein Ausgangssignal des Speichers. Bei dieser Ausführungsform muß jedoch die magnetische

Anordnung während ihrer Verwendung einem schwachen Magnetfeld unterworfen werden, welches längs einer der beiden Richtungen der leichten Magnetisierungsachse der ferromagnetischen Schicht orientiert ist, damit die Magnetisierung der nicht gekoppelten Speicherpunkte nach jedem Lesezeitpunkt in ihre Ausgangsstellung zurückgeführt wird.

Außer diesem Vorteil kann festgestellt werden, daß diese letztere Ausführungsform keine entmagnetisierenden Felder an den Stellen der Speicherpunkte aufweist, da die ferromagnetische Schicht im Ruhezustand in einer Richtung gesättigt ist, woraus sich die Möglichkeit einer größeren Informationsdichte des Inhalts als bei den vorher beschriebenen Ausführungsformen mit zwei Richtungen längs der leichten Magnetisierungsachse zur Darstellung der eingeschriebenen Ziffern ergibt, bei welchen infolgedessen solche Entmagnetisierungsfelder auftreten.

Da darüber hinaus die ferromagnetische Schicht im Ruhezustand unabhängig vom Informationsinhalt des Speichers gesättigt bleibt, muß die Anordnung beim Schreiben nicht einem äußeren Magnetfeld unterworfen werden, vorausgesetzt, daß die ferromagnetische Schicht vorher in einer der beiden Richtungen ihrer leichten Magnetisierungsachse gesättigt worden ist.

Hierzu 3 Blatt Zeichnungen

2
13

Nummer: 17 74 058
Int. Cl. 2: G 11 C 13/
Bekanntmachungstag: 24. Juni 19

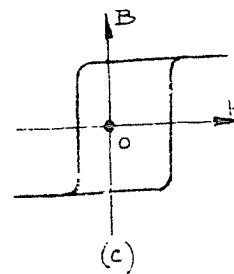
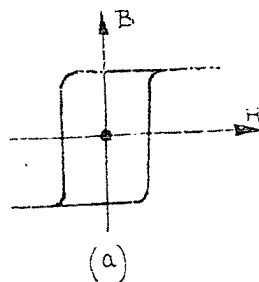
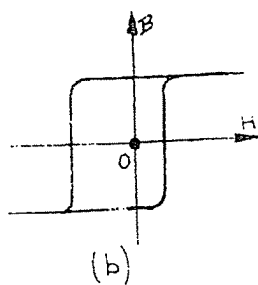


fig.1

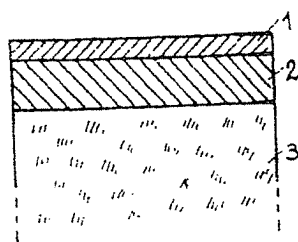


Fig. 2

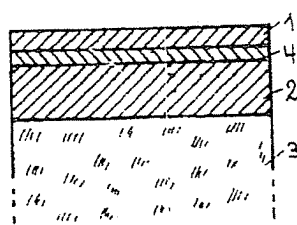


Fig. 3

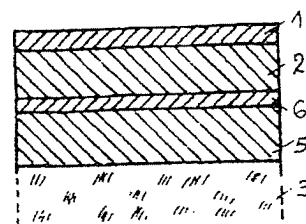


Fig. 4

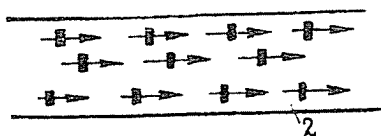


Fig. 5

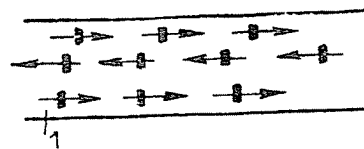


Fig. 6

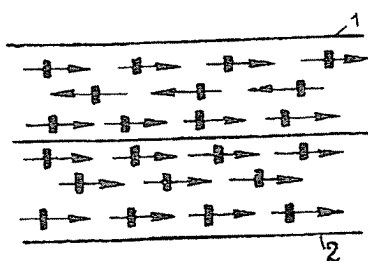


Fig. 7

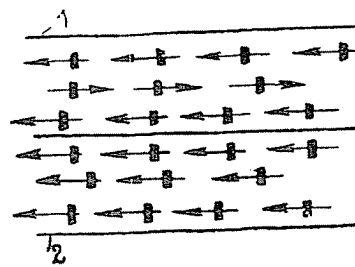


Fig. 8

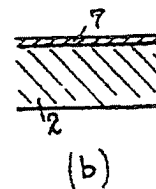
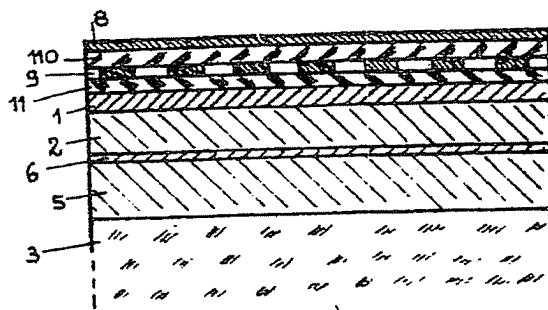


Fig. 9

14

Nummer:

Int. Cl.:

Bekanntmachungstag: 24. Juni 197

17 74 058

G 11 C 13/

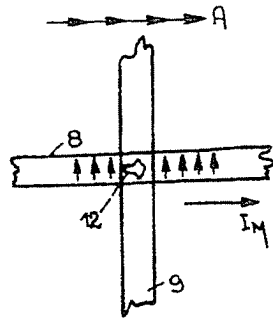


Fig. 10

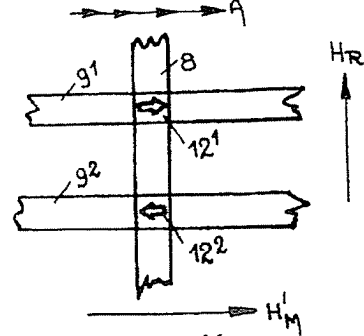


Fig. 11

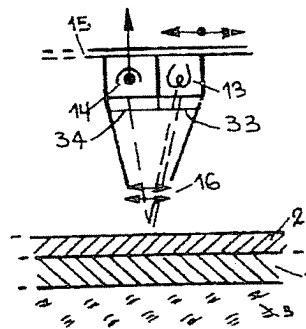


Fig. 12

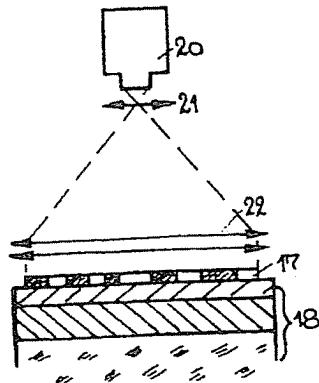


Fig. 13

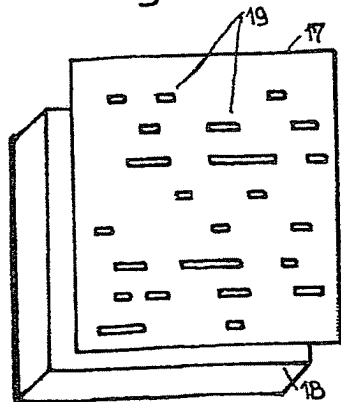


Fig. 14

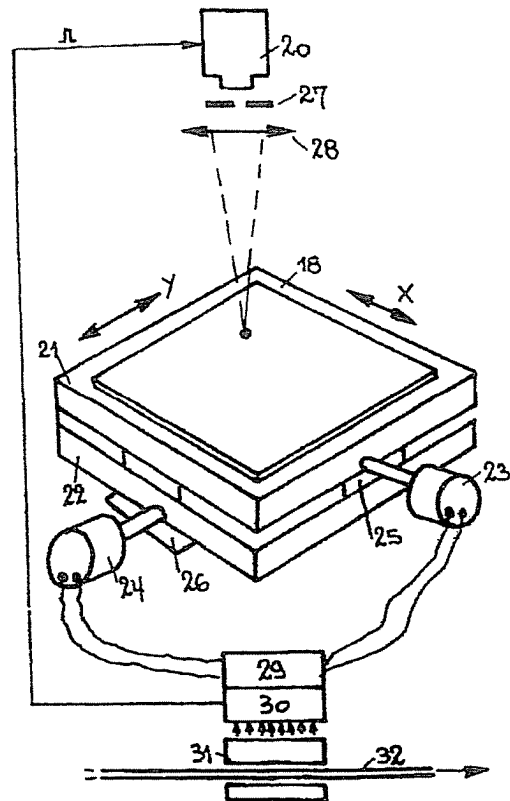


Fig. 15

15

Nummer: 17 74 058
 Int. Cl.²: G 11 C 13/00
 Bekanntmachungstag: 24. Juni 1976

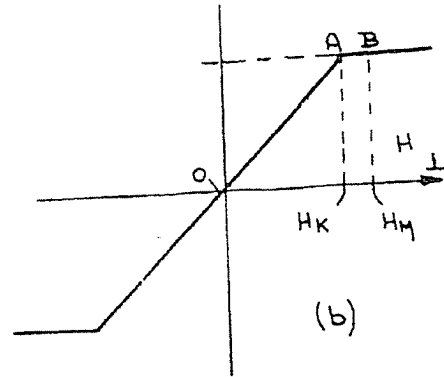
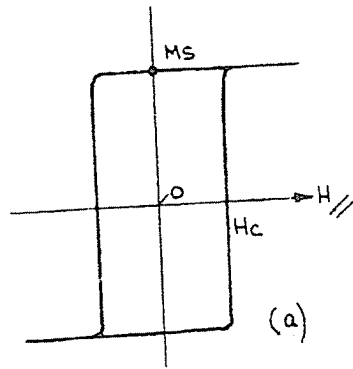


Fig. 16

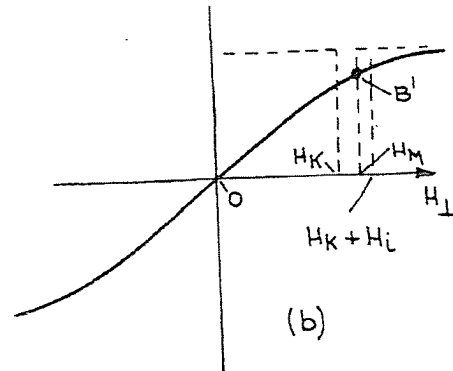
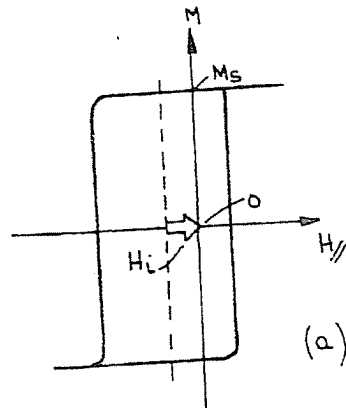


Fig. 17

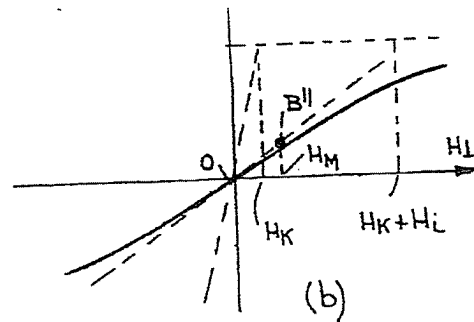
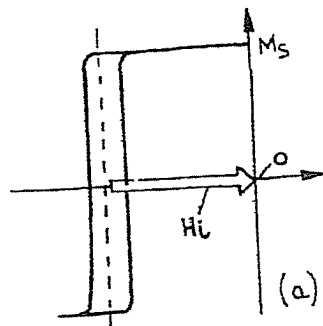


Fig. 18